Automação Industrial

4ª edição

Marco Antônio Ribeiro

Automação Industrial

4ª edição

Marco Antônio Ribeiro

Dedicado a Ivan Alfredo Ivanovs, meu sócio, meu amigo e que conhece mais do que eu este assunto

Quem pensa claramente e domina a fundo aquilo de que fala, exprime-se claramente e de modo compreensível. Quem se exprime de modo obscuro e pretensioso mostra logo que não entende muito bem o assunto em questão ou então, que tem razão para evitar falar claramente (Rosa Luxemburg)

Salvador, Outono 1999

Prefácio

O presente trabalho foi escrito como suporte de um curso ministrado a engenheiros e técnicos ligados, de algum modo à automação industrial. Ele enfoca os aspectos de equipamentos e programas associados à automação.

O trabalho é dividido basicamente em três grandes assuntos:

Fundamentos
Tecnologias
Controle e Alarme do Processo

Na primeira parte, é apresentado o capítulo de **Automação.** A seguir são vistos as definições, símbolos e características de chaves manuais e automáticas, relés e solenóides, temporizadores, contadores e dispositivos de segurança, no capítulo **Componentes Eletromecânicos**. O terceiro capítulo, **Símbolos Lógicos**, baseia-se na norma ISA S5.2 e são apresentados os símbolos, equações, circuitos e conceitos básicos das portas lógicas. Encerrando esta primeira parte, são apresentados os componentes, desenvolvimento e análise da **Programação de Sistemas Digitais**, baseada na norma IEC 1131-1. São vistas as duas programações gráficas: o **Diagrama Ladder**, representação básica para circuitos de automação com relés e de Controlador Lógico Programável e o **Diagrama de Blocos de Função**, que são atualmente aplicados em sistemas onde o diagrama ladder é pobre e insuficiente.

Na segunda parte do trabalho e no capítulo de **Tecnologias** são apresentados os principais conceitos relacionados com a **Instrumentação Inteligente**, incluindo controladores *single loop* e transmissores digitais e mostrando as características da instrumentação virtual ou de *software*. No capítulo sobre **Computador no Processo**, são apresentadas as aplicações comuns do computador na automação, incluindo configurações clássicas, como a arquitetura do Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD). No próximo capítulo, são apresentados os conceitos, diagrama de blocos, componentes do **Controlador Lógico Programável (CLP)**, sistema básico para realizar a automação de processos. É apresentada a filosofia do **Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA).** Finalmente, é apresentado o capítulo de **Integração de Sistemas**, dando ênfase aos conceitos de redes de computadores protocolos, interfaces, comunicação de dados e **Base de Dados**, que é o capitulo final da seção.

Na terceira parte do trabalho**,** há o capítulo de **Controle de Processo,** onde são apresentados os conceitos básicos do controle convencional analógico, baseado no algoritmo PID e na estratégia de realimentação negativa e os conceitos de **Controle Lógico**, onde são mostradas as diferenças entre este e o controle contínuo. É apresentado um capítulo sobre **Controle Batelada**, que possui conceitos próprios e onde a automação é muito aplicada. Há ainda o capítulo de **Alarme** e **Intertravamento de Processo** e outro capítulo sobre **Anunciador de Alarme.** Finalmente, há um capítulo sobre **Operação de Processo.**

O trabalho está continuamente sendo revisto, quando são melhorados os desenhos, editadas figuras melhores, atribuídos os créditos a todas as fotografias usadas e alterada a terminologia para atender as revisões de normas aplicáveis.

Sugestões e críticas destrutivas são benvidas, no endereço do autor: Rua Carmen Miranda 52, A 903, CEP 41820-230, Fone (0xx71) 452-3195 e Fax (0xx71) 452-3058, celular (071) 9989-9531 e ou no *e-mail*: marcotek@uol.com.br**.**

Marco Antônio Ribeiro
Salvador, BA, outono 2001

Autor

Marco Antônio Ribeiro nasceu em Araxá, MG, no dia 27 de maio de 1943. Formou-se pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em Engenharia Eletrônica, em 1969.

Entre 1973 e 1986, trabalhou na Foxboro, onde fez vários cursos nos Estados Unidos (Foxboro, MA e Houston, TX) e em Buenos Aires, Argentina.

Desde 1987, dirige a Tek (*)Treinamento e Consultoria Ltda., firma pequeníssima voltada para treinamento na área de Instrumentação, Controle de Processo, Medição de Vazão, Cálculo de Incerteza na Medição, Metrologia Industrial, Instalações Elétricas em Áreas Classificadas. É certamente difícil ser um especialista competente em numerosos assuntos tão ecléticos, porém ele se esforça continuamente em sê-lo.

Gosta de xadrez, corrida, fotografia, música de Beethoven, leitura, trabalho, curtir os filhos e a vida.

Já correu três maratonas, a melhor em 3 h 13 m 11 s e a pior em 3 h, 28 m 30 s. Diariamente corre entre 8 e 12 km, às margens do oceano Atlântico. Semanalmente participa de torneios de xadrez relâmpago e nas horas de taxa telefônica reduzida, joga xadrez através da Internet. Possivelmente, é o melhor jogador de xadrez entre os corredores e o melhor corredor entre os jogadores de xadrez, o que realmente não é grande coisa e também não contribui nada para a *Automação Industrial*.

(*) *Tekinfim* (Tek) foi seu apelido no ITA, pois só conseguiu entrar lá na terceira tentativa. Mas o que conta é que entrou e saiu engenheiro. O que foi um grande feito para um bóia fria do interior de Minas Gerais.

Automação Industrial
Conteúdo

Prefácio

Autor

FUNDAMENTOS

Automação

1. Automação 1
1.1. Conceito 1
1.2. Automação e mão de obra 1
1.3. Automação e controle 2
1.4. Automação e eletrônica 2

2. Graus de Automação 3
2.1. Ferramentas manuais 3
2.2. Ferramentas acionadas 3
2.3. Quantificação da energia 3
2.4. Controle programado 3
2.5. Controle realimentação negativa4
2.6. Controle da máquina com cálculo4
2.7. Controle lógico da máquina 4
2.8. Controle Adaptativo 4
2.9. Controle indutivo 4
2.10. Máquina criativa 4
2.11. Aprendendo pela máquina 5

3. Sistemas de automação 5

4. Conclusão 6

Componentes Eletromecânicos

Objetivos de Ensino 1

1. Introdução 1

2. Chave 2
2.1. Conceito 2
2.2. Pólos e Terminais 3
2.3. Chave Liga-Desliga 3
2.4. Chave Botoeira 4
2.5. Chave Seletora 4
2.6. Critérios de Seleção 5

3. Chaves Automáticas 5
3.1. Pressostato 5
3.2. Termostato 6
3.3. Chave de Vazão 6
3.4. Chave de Nível 7
3.5. Chave limite 7

4. Solenóide 8
4.1. Conceito 8
4.2. Seleção 8
4.3. Tipos 9

5. Relés 10
5.1. Definição e Funções 10
5.2. Características 10
5.3. Aplicações 11
5.4. Tipos de Relés 11
5.5. Seleção de Relés 14

6. Temporizadores 14
6.1. Atraso para ligar 17
6.2. Atraso para desligar 17

7. Contadores 18
7.1. Contagem simples 19
7.2. Dois contadores 19
7.3. Número de peças . 19

8. Proteção de Circuitos 20
8.1. Fusível 20
8.2. Disjuntor (Circuit Breaker) 22

Símbolos e Identificação

1. Introdução 1

2. Aplicações 1

3. Roteiro da identificação 1

3.1. Geral 1
3.2. Número de tag típico 1
3.3. Identificação funcional 2
3.4. Identificação da malha 2

4. Simbologia de Instrumentos 3

4.1. Parâmetros do Símbolo 3
4.2. Alimentação dos instrumentos 3
4.3. Linhas entre os Instrumentos 6
4.4. Balão do Instrumento 6

5. Malha de controle 13

6. Sistemas completos 13

7. Referências bibliográficas 16

Símbolos Lógicos

1. Lógica 1

1.1. Conceito 1
1.2. Lógica de relé e programas 1
1.3. Lógica Combinatória 1
1.4. Lógica CLP 1

2. Conceituação e Execução 2

2.1. Tipos de documentos 2
2.2. Documentos conceituais 3

3. Portas Lógicas 3

3.1. Porta OR 3
3.2. Porta OR Exclusivo 4
3.3. Porta AND 5
3.4. Porta NOT 5
3.5. Porta NAND 6
3.6. Porta NOR 6

4. Exemplos lógicos 7

4.1. Circuito retentivo 7
4.2. Bomba de vácuo 9
4.3. Reator Químico de Batelada 9

5. Cartas de função 9

5.1. Desenhos e Palavras 12
5.2. Conceito 12
5.3. Documentos de execução 21
5.4. ANSI/ISA S5.2 21
5.5. Diagrama lógico 22
5.6. Aplicações das portas 23

6. Conclusão 31

Linguagens de Programação

1. Introdução 1

2. Ferramentas auxiliares 2

3. Linguagens Textuais 10

3.1. Elementos comuns 10
3.2. Lista de Instruções 10
3.3. Linguagem de Texto Estruturado 15

4. Linguagens Gráficas 17

4.1. Elementos comuns 17

Diagrama Ladder

1. Introdução 1

2. Componentes 1

3. Exemplo 1 2

4. Diagrama errado 2

5. Exemplo 2 3

6. Desenvolvimento 4

7. Análise 5

8. Exemplos de Diagrama Ladder 8

8.1. Circuito de Alarme de Alta Pressão 8
8.2. Controle de Bomba e lâmpadas 9
8.3. Controle seqüencial de 3 motores 10
8.4. Controle temporizado de motores 11
8.5. Controle seqüencial temporizado 12
8.6. Controle de velocidade de motores 13
8.7. Unidade de Aquecimento de Óleo 15
8.8. Enchimento e Esvaziamento 16
8.9. Enchimento com Duas Bombas 18
8.10. Enchimento de garrafa: 19
8.11. Sistema de Esteira 21
8.12. Sistema de Elevador 23
8.13. Enchimento de tanque 26
8.14. Furadeira 27

Diagrama de Blocos de Função

1. Definições 1

2. Conceitos Básicos 5

2.1. Geral 5
2.2. Combinação de elementos 5
2.3. Ordem da avaliação do circuito5
2.4. Bloco de função 5

3. Blocos Funcionais Padrão 7

AIN 7
Aritmética de Adição (ADD) 7
Aritmética de Subtração (SUB) 7
Aritmética de Divisão (DIV) 7
Aritmética de Multiplicação (MUL)8
Comparador Diferente de (NE) 8
Comparador Maior ou Igual (GE) 8
Comparador Menor ou Igual (LE) 8
Contador Crescente (CTU) 8
Contador Decrescente (CTD) 8
Contador Crescente e Decrescente9
Conversor DINT_TO_DWORD 9
Conversor DWORD_TO_DINT 9
Conversor DINT_TO_REAL 9
Detector de Borda de Descida 10
Detector de Borda de Subida 10
Flip Flop RS (R prioritário) 10
Flip Flop SR (S prioritário) 10
Lógica Ou (OR) 10
Lógica E (AND) 11
Lógica Mover (MOVE) 11
Lógica Não (NOT) 11
Multiplexador (MUX) 11
PACK16 11
UNPACK16 12
Seletor de Sinais (SEL) 12
Temporizador (TMR) 12
Temporizador TOF 12
Temporizador TON 13
Temporizador TP 13

4. Blocos Personalizados 14

4.1. Parâmetros dos blocos 14
4.2. Formação de TAG 14
4.3. Alarme/Desarme de ALTA 17
4.4. Alarme/Desarme de BAIXA 18
4.5. Alarme/Desarme com By Pass de retorno automático 20
4.6. Alarme de ALTA com Seleção de Set Point 21
4.7. By Pass de Set Point 23
4.8. Contador 24
4.9. Acionamento de MOV 25
4.10 Desarme de BAIXA 26
4.11. Desarme de ALTA 26
4.12. Rastreador de Alta 27
4.13. Rastreador de Baixa 27
4.14. Seletor de By Pass 29
4.15. TR_CALENDAR 29

TECNOLOGIAS

Instrumentação Inteligente

1. Instrumento microprocessado 1

1.1. Conceito de microprocessador 1
1.2. Vantagens do microprocessador 3
1.3. Aplicações 5
1.4. Conclusões 6

2. Controlador inteligente 6

2.1. Conceito 6
2.2. Características 7
2.3. Controladores comerciais 8

3. Transmissores inteligentes 11

3.1. Introdução 11
3.2. Transmissor smart e inteligente11
3.3. Terminologia 12
3.4. Propriedades e características 15

4. Instrumentação virtual 19

4.1. Definição 19
4.2. Passado e Tendências Futuras 19
4.3. Progressão de Normas 20
4.4. Partes do Sistema 21

Computador no Processo

1. Justificativas 1

2. Aplicações típicas 2

2.1. Lógica 2
2.2. Controle Avançado 3
2.3. Monitoração de Alta Velocidade3
2.4. Partida e desligamento 4
2.5. Otimização do controle 4

3. Configurações 5

3.1. Computador fora da linha 5
3.2. Computador com entrada em linha5
3.3. Computador com entrada e saída em linha 6
3.4. Computador centralizado 6
3.5. Aquisição de dados (data logging)6
3.6. Controle do ponto de ajuste 8
3.7. Controle digital direto (DDC) 11

4. Sistema de controle digital distribuído 13

4.1. Filosofia 13
4.2. Interface com o processo 13
4.3. Interface com o controle 15
4.4. Interface com o operador 15
4.5. Gerenciamento do controle 15
4.6. Sistema de comunicação 15
4.7. Vantagens e limitações do SDCD 16

5. Computador no Processo

5.1. Introdução 16
5.2. Computador Digital 16
5.3. Computador Digital e Analógico 17
5.4. Controlador Digital 18
5.5. Como Computadores Controlam 19
5.6. Tipos de Computadores Digitais 19
5.7. Uso do Computador em Controle 20
5.8. Operação do Computador Digital 20

6. Computador como Controlador 23

6.1. Introdução 23
6.2. Informação Requerida 23
6.3. Informação do Processo 25
6.4. Circuitos de Interface 25
6.5. Endereçamento E/S 28
6.6. Processamento de Dados 29
6.7. Projeto do Computador 30
6.8. Programação do Computador 31

7. Conclusões 32

Controlador Lógico Programável

Objetivos de Ensino 1

1. Introdução 1

1.1. Definição 1
1.2. Terminologia 1
1.3. Histórico 1
1.4. Evolução 2

2. Comparação com outros sistemas

2.1. Lógica Fixa Eletrônica 3
2.2. Lógica com Relés 3
2.3. Computador Pessoal 4
2.4. Vantagens do CLP 5
2.5. Desvantagens do CLP 7
2.6. CLP versus SDCD 8

3. Componentes do CLP 11

3.1. Unidade Processamento Central 12
3.2. Memória 13
3.3. Unidades de Programação 13
3.4. Módulos de Entrada/Saída (E/S) 15
3.5. Módulos de Comunicação 22
3.6. Tensão, Corrente e Isolação 23
3.7. Periféricos 24

4. Manutenção do CLP 25

5. Mercado do CLP 26

Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA)

1. Aquisição de Dados 1

1.1 Introdução 1
1.2. Sistema de Aquisição de Dados 1
1.3. Sensores 2
1.4. Circuitos condicionadores 2
1.5. Multiplexação 5
1.6. Amostragem de dados 8
1.7. Circuito sample e hold 8
1.8. Conversor digital -analógico 9
1.9. Conversor analógico -digital 11

2. Telemetria 13

2.1. Introdução 13
2.1. Conceito 13
2.2. Telemetria e aquisição de dados 14
2.3. Canais de Comunicação 15
2.4. Modem 16
2.5. Transmissão por rádio freqüência 18

3. Controle Supervisório do Sistema de Aquisição de Dados 19

3.1. Introdução 19
3.2. Equipamento (Hardware) 19
3.3. Programa Aplicativo (Software) 20

4. InTouch 20

4.1. Propriedades 20
4.2. Características Especiais 22
4.3. Outros Benefícios 25
4.5. Operação 27
4.6. Redes de controle 34

Integração de Sistemas

1. Rede de Computadores 1

1.1. Introdução 1
1.2. Rede e Sistema Distribuído 1
1.3. Objetivos da Rede 3
1.4. Parâmetros da rede 5
1.5. Arquitetura da Rede 6
1.7. Modelo de Referência OSI 9

2. Comunicação de dados 16

2.1. Introdução 16
2.2. Tipos de sinais 16
2.3. Meio físico 16
2.4. Número de Canais 17
2.5. Movimento de Dados 17
2.6. Tempo e transmissão 18
2.7. Multiplexagem de Sinal 19

3.Protocolos e interfaces 19

3.1. Conceitos 19
3.2. Ethernet (IEEE 802.3) 21
3.3. Protocolo HART 21
3.4 Fieldbus Foundation 24
3.5. Profibus Trade Organization 27
3.6. WorldFIP 28
3.7. ARCnet 29
3.8. ControlNet 30

4. Base de Dados (Database) 32

4.1. Introdução 32
4.2. Bases de dados tradicionais 32
4.3. Aplicações de RDBs 33
4.4. Estrutura da RDB 35
4.5. Interação com base de dados 36
4.6. Partes componentes da RDB 36
4.7. Importância das ferramentas 37
4.8. Explosão da base de dados 38

5. Integração de Sistemas 42

5.1. Cenário da planta 42
5.2. Conceito de Integração 42
5.3. Pirâmide da interoperabilidade 43
5.4. Parâmetros da integração 43
5.5. Como integrar 45

CONTROLE E ALARME

Controle do Processo

Objetivos de Ensino 1

1. Controle Contínuo 1

1.1. Introdução 1
1.2. Malha aberta ou fechada 1
1.3. Ações de Controle 2
1.4. Fatores do Processo 6
1.5. Fatores do Instrumento 8
1.6. Sintonia do Controlador 8
1.7. Controle Multivariável 10
1.8. Conclusão 12

2. Controle Lógico 13

2.1. Conceito 13
2.2. Controle de processo discreto 13
2.3. Características do sistema 14
2.4. Variáveis de estado discreto 15
2.5. Especificações do processo 16
2.6. Seqüência de eventos 17
2.7. Fluxograma da seqüência 18

Controle Batelada

Objetivos 1

1. História da Batelada 1

1.1. Origem do Controle Batelada 1
1.2. Funções de controle da batelada 3
1.3. Controle manual direto 3
1.4. Controle Regulatório 3
1.5. Intertravamentos de segurança 4
1.6. Sequenciamento 4
1.7. Gerenciamento da Batelada 4
1.8. Planejamento 5
1.9. Equipamentos 5
1.10. Conclusão 11

2. Gerenciamento da Batelada 11

2.1. Introdução 11
2.2. Exigências 11
2.3. Funções Automáticas 12

3. Controle da Batelada 19

3.1. Introdução 19
3.2. Batelada seqüencial temporizado19
3.3. Controle acionado por eventos 20

4. Automação da Batelada 20

4.1. Introdução 20
4.2. Medição das variáveis 21
4.3. Instrumentação Modular 22
4.4. Controle de Batelada 23
4.5. Característica da Instrumentação24
4.6. Características desejáveis 25
4.7. Segurança 27
4.8. Complicações 28
4.9. Instruções de Operação 29

Alarme e Intertravamento

1. Terminologia 1

2. Segurança da Planta 8

2.1. Projeto da planta 8
2.2. Medição e Controle 8
2.3. Alarme do processo 9
2.4. Desligamento de emergência 9
2.4. Monitoração do fogo e gás 9

3. Tecnologias do Sistema 10

3.1. Tecnologias disponíveis 10
3.2. Escolha do Sistema 10

4. Alarme do Processo 12

4.1. Introdução 12
4.2. Componentes 12
4.3. Prioridade de alarmes 13
4.4. Realização do Alarme 13

5. Intertravamento do Processo 16

5.1. Conceito 16
5.2. Tipos de Falhas 17
5.3. Análise do Intertravamento 18
5.4. Segurança da malha de controle19
5.5. Projeto do Intertravamento 20
5.6. Filtrando os alarmes 24
5.7. Circuitos de Intertravamentos 25
5.8. Sistema de Votação 28
5.9. Falhas no Sistema 31
5.10. Sistema de Falha Segura 42

6. Alarme e Cores 44

6.1. Introdução 44
6.2. Código de cores 44
6.3. Transmissão e projeção de cores45

Anunciador de Alarme

Objetivos 1

1. Conceito 1

2. História e Desenvolvimento 2

3. Seqüências do Anunciador 3

3.1. Tipos de Seqüência 7
3.2. Condições 7
3.3. ISA RP 18.1 (1965) 7
3.4. ISA S18.1 (1984) 7

4. Designação da Seqüência 9

4.1. Letra de Seqüência Básica 9
4.2. Designação do número de opção10
4.3. First out 11

5. Descrição da Seqüência 20

5.1. Seqüência A, Reset Automático20
5.2. Seqüência M, Reset Manual 20
5.3. Seqüência R, Ringback 21
5.4. Seqüência First Out 21
5.5. Seqüência com Teste 22

6. Arranjos do Anunciador 23

6.1. Anunciador com Lógica Integral23
6.2. Anunciador remoto 23

7. Operação 24

7.1. Display Visual 25
7.2. Dispositivos sonoros 27
7.3. Botoeiras 27
7.4. Circuitos Lógicos 28
7.5. Características Opcionais 30
7.6. Saídas auxiliares 34
7.7. Sistemas de Alimentação 36
7.8. Testes de Fábrica 37

8. Outros Sistemas 38

8.1. Alarme discreto 38
8.1. Enunciador 39
8.2. Registrador de Eventos 39
8.3. Monitor Específico 40
8.4. Alarmes por Computado 40
8.5. Painéis de alarme 42

9. Tendências 43

9.1. Tecnologias rivais 43
9.2. Anunciador isolado 43
9.3. Anunciador distribuído 44
9.4. Software baseado em PC 44
9.5. Estampando data e hora 44

Operação do Processo

1. Introdução 1

2. Fatores Humanos no Projeto 1

2.1. Temas em fatores humanos 2
2.2. Fatores humanos na operação 4

3. Funções do operador 6

4. Atributos Mentais 8

4.1. Automatização 8
4.2. Modelo mental do operador 8
4.3. Representação para o operador 8

5. Estudos do Operador 9

6. Alocação de função 10

7. Análise da tarefa 10

8. Display da informação 10

9. Falhas do Processo 16

9.1. Sistema de Controle 16
9.2. Características do Processo 16
9.3. Características do Sistema 189.
4. Projeto da Instrumentação 19
9.5. Falhas de Instrumentos 22
9.6. Administração de Falhas 26

10. Erro Humano 31

11. Treinamento 33

12. Display para o Operador 36

12.1. Introdução 36
12.2. Display da Medição 37
12.3. Desempenho do instrumento 38
12.4. Instrumentos Inteligentes 42
12.5. Analógico e Digital 43
12.6. Aspectos Psicológicos 44
12.7. Computador de Processo 44
12.8. Conclusão 46

Referências Bibliográficas

Símbolos, Identificação e Fundamentos

1. Automação
2. Componentes Eletromecânicos
3. Símbolos Lógicos
4. Linguagens de Programação
5. Diagrama Ladder
6. Diagrama de Blocos Funcionais

1
Automação

1. Objetivos

1. *Conceituar automação e controle automático.*
2. *Listar os diferentes graus de automação.*
3. *Definir o conceito de automação e seu efeito na indústria e sociedade.*
4. *Introduzir os tipos básicos de sistemas e equipamentos de controle eletrônico.*

1. Automação

1.1. Conceito

Automação é a substituição do trabalho humano ou animal por máquina. Automação é a operação de máquina ou de sistema automaticamente ou por controle remoto, com a mínima interferência do operador humano. Automação é o controle de processos automáticos. Automático significa ter um mecanismo de atuação própria, que faça uma ação requerida em tempo determinado ou em resposta a certas condições.

O conceito de automação varia com o ambiente e experiência da pessoa envolvida. São exemplos de automação:

1. Para uma dona de casa, a máquina de lavar roupa ou lavar louça.
2. Para um empregado da indústria automobilística, pode ser um robô.
3. Para uma pessoa comum, pode ser a capacidade de tirar dinheiro do caixa eletrônico.

O conceito de automação inclui a idéia de usar a potência elétrica ou mecânica para acionar algum tipo de máquina. Deve acrescentar à máquina algum tipo de inteligência para que ela execute sua tarefa de modo mais eficiente e com vantagens econômicas e de segurança.

Como vantagens, a máquina

1. nunca reclama
2. nunca entra em greve
3. não pede aumento de salário
4. não precisa de férias
5. não requer mordomias.

Como nada é perfeito, a máquina tem as seguintes limitações:

1. capacidade limitada de tomar decisões
2. deve ser programada ou ajustada para controlar sua operação nas condições especificadas
3. necessita de calibração periódica para garantir sua exatidão nominal
4. requer manutenção eventual para assegurar que sua precisão nominal não se degrade.

1.2. Automação e mão de obra

Com o advento do circuito integrado (1960) e do microprocessador (1970), a quantidade de inteligência que pode ser embutida em uma máquina a um custo razoável se tornou enorme. O número de tarefas complexas que podem ser feitas automaticamente cresceu várias vezes. Atualmente, pode-se dedicar ao computador pessoal (CP) para fazer tarefas simples e complicadas, de modo econômico.

A automação pode reduzir a mão de obra empregada, porém ela também e ainda requer operadores. Em vez de fazer a tarefa diretamente, o operador controla a máquina que faz a tarefa. Assim, a dona de casa deve aprender a carregar a máquina de lavar roupa ou louça e deve conhecer suas limitações. Operar a máquina de lavar roupa pode inicialmente parecer mais difícil que lavar a roupa diretamente. Do mesmo modo, o operador

de uma furadeira automática na indústria automobilística deve ser treinado para usar a máquina com controle numérico que faz o furo realmente. A linha de montagem com robôs requer operadores para monitorar o desempenho desses robôs. Quem tira o dinheiro do caixa eletrônico, deve possuir um cartão apropriado, decorar uma determinada senha e executar uma série de comandos no teclado ou tela de toque.

Muitas pessoas pensam e temem que a automação significa perda de empregos, quando pode ocorrer o contrário. De fato, falta de automação coloca muita gente para trabalhar. Porém, estas empresas não podem competir economicamente com outras por causa de sua baixa produtividade devida à falta de automação e por isso elas são forçadas a demitir gente ou mesmo encerrar suas atividades. Assim, automação pode significar ganho e estabilidade do emprego, por causa do aumento da produtividade, eficiência e economia.

Muitas aplicações de automação não envolvem a substituição de pessoas por que a função ainda não existia antes ou é impossível de ser feita manualmente. Pode-se economizar muito dinheiro anualmente monitorando e controlando a concentração de oxigênio dos gases queimados em caldeiras e garantindo um consumo mais eficiente de combustível. Pode se colocar um sistema automático para recuperar alguma substância de gases jogados para atmosfera, diminuindo os custos e evitando a poluição do ar ambiente.

1.3. Automação e controle

A automação está intimamente ligada à instrumentação. Os diferentes instrumentos são usados para realizar a automação.

Historicamente, o primeiro termo usado foi o de controle automático de processo. Foram usados instrumentos com as funções de medir, transmitir, comparar e atuar no processo, para se conseguir um produto desejado com pequena ou nenhuma ajuda humana. Isto é controle automático.

Com o aumento da complexidade dos processos, tamanho das plantas, exigências de produtividade, segurança e proteção do meio ambiente, além do controle automático do processo, apareceu a necessidade de monitorar o controle automático.

A partir deste novo nível de instrumentos, com funções de monitoração, alarme e intertravamento, é que apareceu o termo automação. As funções predominantes neste nível são as de detecção, comparação, alarme e atuação lógica.

Por isso, para o autor, principalmente para a preparação de seus cursos e divisão de assuntos, tem-se o controle automático aplicado a processo contínuo, com predominância de medição, controle PID (proporcional, integral e derivativo). O sistema de controle aplicado é o Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD), dedicado a grandes plantas ou o controlador single loop, para aplicações simples e com poucas malhas.

Tem-se a automação associada ao controle automático, para fazer sua monitoração, incluindo as tarefas de alarme e intertravamento. A automação é também aplicada a processos discretos e de batelada, onde há muita operação lógica de ligar e desligar e o controle seqüencial. O sistema de controle aplicado é o Controlador Lógico Programável (CLP).

Assim: controle automático e automação podem ter o mesmo significado ou podem ser diferentes, onde o controle regulatório se aplica a processos contínuos e a automação se aplica a operações lógicas, seqüenciais de alarme e intertravamento.

1.4. Automação e eletrônica

Na década de 1970, era clássica a comparação entre as instrumentações eletrônica e pneumática. Hoje, às vésperas do ano 2000, há a predominância da eletrônica microprocessada.

Os sensores que medem o valor ou estado de variáveis importantes em um sistema de controle são as entradas do sistema, mas o coração do sistema é o controlador eletrônico microprocessado. Muitos sistemas de automação só se tornaram possíveis por causa dos recentes e grandes avanços na eletrônica. Sistemas de controle que não eram práticos por

causa de custo há cinco anos atrás hoje se tornam obsoletos por causa do rápido avanço da tecnologia.

A chave do sucesso da automação é o uso da eletrônica microprocessada que pode fornecer sistemas eletrônicos programáveis. Por exemplo, a indústria aeronáutica constrói seus aviões comerciais em uma linha de montagem, mas personaliza o interior da cabine através de simples troca de um programa de computador. A indústria automobilística usa robôs para soldar pontos e fazer furos na estrutura do carro. A posição dos pontos de solda, o diâmetro e a profundidade dos furos e todas as outras especificações podem ser alteradas através da simples mudança do programa do computador. Como o programa do computador é armazenado em um chip de memória, a alteração de linhas do programa neste chip pode requerer somente alguns minutos. Mesmo quando se tem que reescrever o programa, o tempo e custo envolvidos são muitas vezes menores que o tempo e custo para alterar as ferramentas.

2. Graus de Automação

A história da humanidade é um longo processo de redução do esforço humano requerido para fazer trabalho. A sua preguiça é responsável pelo progresso e o aparecimento da automação. Pode-se classificar os graus de automação industrial em várias fases.

2.1. Ferramentas manuais

O primeiro progresso do homem da caverna foi usar uma ferramenta manual para substituir suas mãos. Esta ferramenta não substituiu o esforço humano, mas tornou este esforço mais conveniente. Exemplos de ferramentas: pá, serra, martelo, machado, enxada.

Como não há máquina envolvida, considera-se que este nível não possui nenhuma automação.

Na indústria, este nível significa alimentar manualmente um reator, moendo sólidos, despejando líquidos de containeres, misturando com espátula, aquecendo com a abertura manual de válvula de vapor.

2.2. Ferramentas acionadas

O próximo passo histórico foi energizar as ferramentas manuais. A energia foi suprida através de vapor d'água, eletricidade e ar comprimido. Este degrau foi chamado de Revolução Industrial. A serra se tornou elétrica, o martelo ficou hidráulico.

Na indústria, usa-se um motor elétrico para acionar o agitador, a alimentação é feita por uma bomba, o aquecimento é feito por vapor ou por eletricidade.

2.3. Quantificação da energia

Com a energia fornecida para acionar as ferramentas, o passo seguinte foi quantificar esta energia. Um micrômetro associado à serra, indica quanto deve ser cortado. A medição torna-se parte do processo, embora ainda seja fornecida para o operador tomar a decisão.

Na indústria, este nível significa colocar um medidor de quantidade na bomba para indicar quanto foi adicionado ao reator. Significa também colocar um cronômetro para medir o tempo de agitação, um termômetro para indicar o fim da reação. As variáveis indicadas ao operador ajudavam o operador determinar o status do processo.

2.4. Controle programado

A máquina foi programada para fazer uma série de operações, resultando em uma peça acabada. As operações são automáticas e expandidas para incluir outras funções. A máquina segue um programa predeterminado, em realimentação da informação. O operador deve observar a máquina para ver se tudo funciona bem.

Na planta química, uma chave foi adicionada no medidor de vazão para gerar um sinal para desligar a bomba, quando uma determinada quantidade for adicionada. Uma alarme foi colocado no cronômetro para avisar que o tempo da batelada foi atingido.

2.5. Controle com realimentação negativa

O próximo passo desenvolve um sistema que usa a medição para corrigir a máquina. A definição de automação de Ford se refere a este nível.

Na indústria química, o controle a realimentação negativa é o começo do controle automático. A temperatura é usada para controlar a válvula que manipula o vapor. O regulador de vazão ajusta a quantidade adicionada no reator, baseando na medição da vazão.

2.6. Controle da máquina com cálculo

Em vez de realimentar uma medição simples, este grau de automação utiliza uma cálculo da medição para fornecer um sinal de controle.

Na planta química, os cálculos se baseiam no algoritmo PID, em que o sinal de saída do controlador é uma função combinada de ações proporcional, integral e derivativa. Este é o primeiro nível de automação disponível pelo computador digital.

2.7. Controle lógico da máquina

O sistema de telefone com dial é um exemplo de máquina lógica: Quando se tecla o telefone, geram-se pulsos que lançam chaves que fazem a ligação desejada. Caminhos alternativos são selecionados por uma série programada de passos lógicos.

O sistema de segurança e desligamento da planta química usa controle lógico. Um conjunto de condições inseguras dispara circuitos para desligar bombas, fechar válvula de vapor ou desligar toda a planta, dependendo da gravidade da emergência.

2.8. Controle Adaptativo

No controle adaptativo, a máquina aprende a corrigir seus sinais de controle, se adequando às condições variáveis. Uma versão simples deste nível é o sistema de aquecimento de um edifício que adapta sua reposta ao termostato a um programa baseado nas medições da temperatura externa.

O controle adaptativo tornou-se acessível pelo desenvolvimento de sistemas digitais. Um exemplo de controle adaptativo na indústria química é o compressor de nitrogênio e oxigênio para fabricação de amônia. A eficiência do compressor varia com a temperatura e pressão dos gases e das condições do ambiente. O controlador adaptativo procura o ponto ótimo de trabalho e determina se o compressor está em seu objetivo, através do índice de desempenho. Para isso, usa-se a tecnologia avançada do computador mais a tecnologia de instrumentos de análise em linha.

2.9. Controle indutivo

A máquina indutiva rastreia a resposta de sua ação e revisa sua estratégia, baseando-se nesta resposta. Para fazer isso, o controlador indutivo usa programa heurístico.

Na planta química, o sistema usa um método e o avalia, muda uma variável de acordo com um programa e o avalia de novo. Se este índice de desempenho tem melhorado, ele continua no mesmo sentido; se a qualidade piorou, ele inverte o sentido. A quantidade de ajuste varia com seu desvio do ponto ideal. Depois que uma variável é ajustada, o sistema vai para a próxima. O sistema continua a induzir as melhores condições na planta.

Uma aplicação típica é no controle de fornalha de etileno.

2.10. Máquina criativa

A máquina criativa projeta circuitos ou produtos nunca antes projetados. Exemplo é um programa de composição de música. A máquina criativa procura soluções que seu programado não pode prever.

Na planta química, é o teste de catalisador. O sistema varia composição, pressão e temperatura em determinada faixa, calcula o valor do produto e muda o programa na direção de aumentar o valor.

2.11. Aprendendo pela máquina

Neste nível, a máquina ensina o homem. O conhecimento passa na forma de informação. A máquina pode ensinar matemática ou experiência em um laboratório imaginário, com o estudante seguindo as instruções fornecidas pela máquina. Se os estudantes cometem muitos erros, porque não estudaram a

lição, a máquina os faz voltar e estudar mais, antes de ir para a próxima lição.

Assim, todos os graus de automação são disponíveis hoje, para ajudar na transferência de tarefas difíceis para a máquina e no alívio de fazer tarefas repetitivas e enfadonhas. Fazendo isso, a máquina aumenta a produtividade, melhora a qualidade do produto, torna a operação segura e reduz o impacto ambiental.

3. Sistemas de automação

A aplicação de automação eletrônica nos processos industriais resultou em vários tipos de sistemas, que podem ser geralmente classificados como:

1. Máquinas com controle numérico
2. Controlador lógico programável
3. Sistema automático de armazenagem e recuperação
4. Robótica
5. Sistemas flexíveis de manufatura.

3.1. Máquina com controle numérico

Uma máquina ferramenta é uma ferramenta ou conjunto de ferramentas acionadas por potência para remover material por furo, acabamento, modelagem ou para inserir peças em um conjunto. Uma máquina ferramenta pode ser controlada por algum dos seguintes modos:

1. Controle contínuo da trajetória da ferramenta onde o trabalho é contínuo ou quase contínuo no processo.
2. Controle ponto a ponto da trajetória da ferramenta onde o trabalho é feito somente em pontos discretos do conjunto.

Em qualquer caso, as três coordenadas (x, y, z ou comprimento, largura e profundidade) devem ser especificadas para posicionar a ferramenta no local correto. Programas de computador existem para calcular a coordenada e produzir furos em papel ou fita magnética que contem os dados numéricos realmente usados para controlar a máquina.

A produtividade com controle numérico pode triplicar. No controle numérico, exige-se pouca habilidade do operador e um único operador pode supervisionar mais de uma máquina.

Se em vez de usar uma fita para controlar a máquina, é usado um computador dedicado, então o sistema é tecnicamente chamado de máquina controlada numericamente com computador (CNC). Um centro com CNC pode selecionar de uma até vinte ferramentas e fazer várias operações diferentes, como furar, tapar, frezar, encaixar.

Se o computador é usado para controlar mais de uma máquina, o sistema é chamado de máquina controlada numericamente e diretamente. A vantagem deste enfoque é a habilidade de integrar a produção de várias máquinas em um controle global de uma linha de montagem. A desvantagem é a dependência de várias máquinas debaixo de um único computador.

3.2. Controlador lógico programável

O controlador lógico programável é um equipamento eletrônico, digital, microprocessado, que pode

1. controlar um processo ou uma máquina
2. ser programado ou reprogramado rapidamente e quando necessário
3. ter memória para guardar o programa.

O programa é inserido no controlador através de microcomputador, teclado numérico portátil ou programador dedicado.

O controlador lógico programável varia na complexidade da operação que eles podem controlar, mas eles podem ser interfaceados com microcomputador e operados como um DNC, para aumentar sua flexibilidade. Por outro lado, eles são relativamente baratos, fáceis de projetar e instalar.

3.3. Sistema de armazenagem e recuperação de dados

Atividades de armazenar e guardar peças são centralizados em torno de inventário de peças ou materiais para, posteriormente, serem usadas, embaladas ou despachadas. Em sistemas automáticos, um computador remoto controla empilhadeiras e prateleiras para receber, armazenar e recuperar itens de almoxarifado. O controle da relação é

exato e os itens podem ser usados ou despachados de acordo com os dados recebidos. Os restaurantes da cadeia McDonald’s têm um dispensa automática para armazenar batatas fritas congeladas. Uma cadeia de supermercado, tipo Makro, usa um almoxarifado automatizado para a guarda e distribuição automática de itens.

3.4. Robótica

Um robô é um dispositivo controlado a computador capaz de se movimentar em uma ou mais direções, fazendo uma seqüência de operações. Uma máquina CNC pode ser considerada um robô, mas usualmente o uso do termo robô é restrito aos dispositivos que tenham movimentos parecidos com os dos humanos, principalmente os de braço e mão.

As tarefas que os robôs fazem podem ser tarefas de usinagem, como furar, soldar, pegar e colocar, montar, inspecionar e pintar. Os primeiros robôs eram grandes, hoje eles podem ser pequeníssimos.

Quando uma tarefa é relativamente simples, repetitiva ou perigosa para um humano, então o robô pode ser uma escolha apropriada. Os robôs estão aumentando em inteligência, com a adição dos sentidos de visão e audição e isto permite tarefas mais complexas a serem executadas por eles.

3.5. Sistema de manufatura flexível

A incorporação de máquinas NC, robótica e computadores em uma linha de montagem automatizada resulta no que é chamado sistema de manufatura flexível. Ele é considerado flexível por causa das muitas mudanças que podem ser feitas com relativamente pouco investimento de tempo e dinheiro. Em sua forma final, matéria prima entra em um lado e o produto acabado sai do almoxarifado em outro lado, pronto para embarque sem intervenção humana. Hoje isto existe somente em conceito, embora grandes partes deste sistema já existem.

4. Conclusão

1. Houve uma revolução industrial com automação de processos de manufatura.
2. Automação é o uso da potência elétrica ou mecânica controlada por um sistema de controle inteligente (geralmente eletrônico) para aumentar a produtividade e diminuir os custos.
3. A falta de automação pode aumentar o desemprego.
4. Automação é um meio para aumentar a produtividade.
5. A habilidade de controlar os passos de um processo é a chave da automação.
6. Avanços na eletrônica tornaram possível o controle de sistemas complexos, a um baixo custo.
7. Os vários tipos de sistemas de automação que podem ser aplicados a processos industriais são:
   - máquina com controle numérico
   - controlador lógico programável
   - sistema de armazenagem e recuperação de peças
   - robótica
   - sistema de manufatura flexível

Apostila\Automação 10Automação.doc 14 ABR 01 (Substitui 23 FEV 99)

2

Componentes Eletromecânicos

Objetivos de Ensino

1. Descrever e aplicar vários arranjos de chaveamento elétrico.
2. Desenhar os símbolos para botoeiras, chaves liga-desliga, lâmpadas pilotos e contatos de relés.
3. Descrever o solenóide elétrico e suas aplicações.
4. Descrever a construção e operação de relés eletromecânicos e a estado sólido. Diferenciar os diferentes tipos de relés.
5. Descrever a operação de temporizadores e contadores.

1. Introdução

A eletrônica possui vários componentes com partes e peças mecânicas. O funcionamento destes componentes sempre envolve movimento mecânico. As partes mecânicas da eletrônica são chamadas de peças móveis. Elas constituem o elo mais fraco da corrente. Por causa de seu movimento mecânico elas apresentam as seguintes desvantagens:

1. sofrem desgaste com o uso e portanto possuem vida útil limitada
2. podem ficar emperradas e portanto são pouco confiáveis
3. são relativamente lentas comparadas com as operações puramente eletrônicas
4. podem apresentar sujeira e umidade que atrapalham o seu funcionamento,
5. quebram mais facilmente, por causa da fadiga e desgaste.
6. seu funcionamento pode ser perturbado por vibração e choque mecânico.
7. produzem barulho quando mudam o estado.

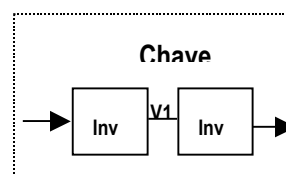



Fig. 2.1. Chaves e inversores

Os principais componentes mecânicos da eletrônica (eletromecânicos) são a chave liga-desliga (*toggle*), chave botoeira (*push button*), chave seletora, chave automática acionada por variável de processo (termostato, pressostato, nível, vazão, posição), relé, válvula solenóide e disjuntor.

Tab. 4.1. Símbolos usados em sistemas de segurança

Símbolo	Descrição
	Contato elétrico, normalmente aberto (NA)
	Contato elétrico, normalmente fechado (NF)
	Chave de vazão, normalmente aberta (NA)
	Chave de vazão, normalmente fechada (NF)
	Chave de nível, normalmente aberta (NA)
	Chave de nível, normalmente fechada (NF)
	Chave de pressão, normalmente aberta (NA)
	Chave de pressão, normalmente fechada (NF)
	Chave de temperatura, normalmente aberta (NA)
	Chave de temperatura, normalmente fechada (NF)
	Chave limite, normalmente aberta (NA)
	Chave limite, normalmente fechada (NF)
	Lâmpada de sinalização
	Buzina
	Válvula solenóide de duas vias
	Válvula solenóide de três vias

2. Chave

2.1. Conceito

A chave é um componente eletromecânico usado para ligar, desligar ou direcionar a corrente elétrica, através de um acionamento mecânico manual ou automático. A chave de duas posições é um componente binário de circuito simples e fundamental, com uma entrada e uma saída. A saída é alta quando a entrada é alta e a saída é baixa quando a entrada é baixa.

A entrada da chave é uma força mecânica e a saída é uma tensão elétrica. A chave estática o semicondutor possui na entrada e saída sinais elétricos. A chave é adequada para teclados e entrada de dados em sistemas digitais.

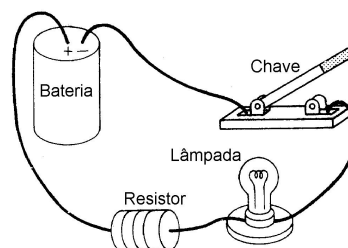



Fig. 2.2. Conceito de chave

O inversor é uma variação da chave. O inversor é também um dispositivo binário, com uma entrada e uma saída, de modo que a saída é alta, quando a entrada for baixa e saída é baixa, quando a entrada for alta. O inversor é um bloco construtivo do sistema digital mais poderoso e fundamental que a chave pois a chave pode ser construída a partir de dois inversores em série e nenhuma combinação de chaves pode produzir um inversor.

As características desejáveis da chave

1. alta velocidade
2. alta confiabilidade
3. entrada e saída elétricas
4. pouca energia consumida
5. baixo custo

Os tipos mais comuns de chaves manuais usadas em sistemas eletrônicos são os seguintes:

1. chave liga-desliga (*toggle*)
2. chave botoeira (*push button*)
3. chave seletora

2.2. Polos e Terminais

Embora exista uma grande variedade de chaves elétricas, há vários termos que são comuns quando se descreve a construção de qualquer chave.

A haste ou parte da chave que é movida para abrir ou fechar um circuito é chamada de pólo da chave. Se uma chave tem somente um pólo, ela é chamada de chave de único pólo (single pole switch). Se ela possui dois pólos, é chamada de chave de duplo pólo. A chave pode ter também três, quatro ou qualquer outro número de pólos, quando é chamada de triplo pólo, e multipolo.

Se cada contato alternadamente abre e fecha somente um circuito, a chave é chamada de único terminal (single throw). Quando o contato é de dupla ação, ou seja, abre um circuito enquanto simultaneamente fecha outro, a chave é chamada de duplo terminal (doble throw)..

Assim, pode haver uma combinação de pólos e terminais; tendo-se

1. single-pole, single-throw (SPST),
2. single-pole, double-throw (SPDT),
3. double-pole, doble-throw (DPDT).

Esta nomenclatura se aplica também aos contatos de relés (relé é uma chave operada pela ação magnética).

A chave elétrica básica é a de simples pólo e simples terminal, SPST.

Quando a chave estiver na posição desligada (OFF), o circuito está eletricamente aberto entre M e N. Quando a chave é mudada para a posição ligada (ON), cria-se um circuito de ligação entre os pontos M e N. Esta chave pode ser normalmente aberta (NA) ou normalmente fechada (NF). A chave NF SPST é um curto-circuito entre M-N quando desligada e é um circuito aberto entre M-N quando ligada. É fundamental definir o tipo, NA ou NF, quando escolher a chave para uma aplicação.

Outro tipo de chave possui polo simples e duplo terminal, abreviado SPDT. O circuito de M é chaveada entre N e O, quando a chave é ligada ou desligada.

Quando se quer ligar dois circuitos separados em ON e OFF simultaneamente. Pode-se usar duas chaves SPST. Na prática, usa-se a chave DPST. Ela consiste de duas chaves SPST em um único corpo. Quando se quer duas chaves simultaneamente em duplo polo, usa-se a chave DPDT. Este arranjo de chaveamento pode ser expandido para três pólos ou mais, como necessário.

Dois outros tipos de configurações são:

1. retorno de mola
2. centro desligado

Atuando a chave SPST com retorno de mola, fecha-se M-N. Porém, quando a chave é liberada, sua mola torna-a desligada. Ela não permanece na posição fechada, como uma chave normal o faz.

A chave com centro desligado possui três posições. Ela também pode ter retorno por mola para a posição central desligada.

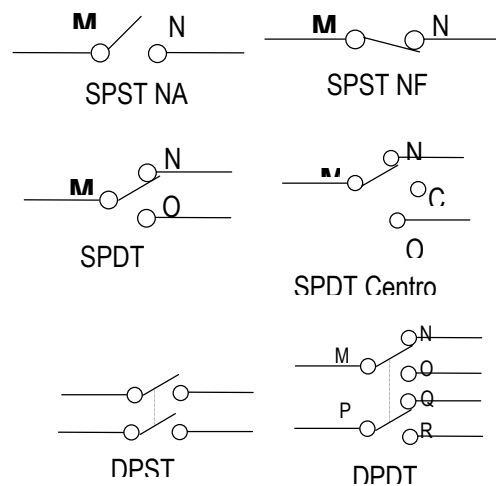



Fig. 2.3. Arranjos de chaveamento elétrico

2.3. Chave Liga-Desliga

A chave liga-desliga (*toggle*) possui uma haste ou alavanca que se move através de um pequeno arco fazendo os contatos de um circuito abrirem ou fecharem repentinamente. O fato de o contato abrir ou fechar muito rapidamente reduz o arco voltaico e garante um curto-circuito seguro. O acionamento da chave toggle é retentivo, ou seja, a chave é ligada por um movimento mecânico e os contatos permanecem na posição alterada, até que a chave seja acionada no sentido contrario. A chave toggle tem uma pequena protuberância saindo do eixo. O eixo toggle

é empurrado para cima ou para baixo para produzir o chaveamento.

Tais chaves são tipicamente usadas em pequenos equipamentos com pouco espaço disponível no painel.

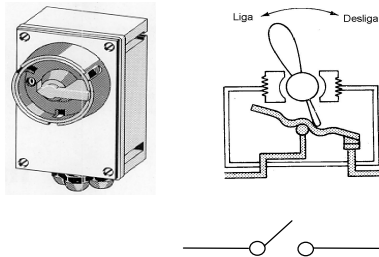



Fig. 2.4. Chave liga desliga (toggle)

2.4. Chave Botoeira

A chave botoeira (*push button*) é projetada para abrir ou fechar um circuito quando acionada e retornar à sua posição normal, quando desacionada. O contato é não retentivo, ou seja, o contato só permanece na posição alterada enquanto a chave estiver acionada; o contato volta para a posição normal quando se tira a pressão da chave. O contato é momentâneo e o seu retorno é causado por uma mola. Normalmente aberto ou normalmente fechado significa que os contatos estão em uma posição de repouso, mantidos por uma mola e não estão sujeitos a nenhuma força externa mecânica ou elétrica.

A botoeira normal tem retorno de mola, de modo que ela é não sustentável. A botoeira mais usada é do tipo SPDT. Quando a botoeira é apertada, o circuito entre M-N é aberto e O-P é fechado. Quando ela é solta, fecha M-N e abre O-P eletricamente. Algumas botoeiras podem ter três, quatro ou mais pólos, aumentando sua capacidade de chaveamento.

A botoeira é usada em controle de motores, onde ela serve para partir, parar, inverter e acelerar a rotação do motor. A chave botoeira é usada tipicamente em chaves de acionamento de campainha e chave de segurança de motores. Ela é disponível em várias cores, identificações, formatos, tamanhos e especificações elétricas.

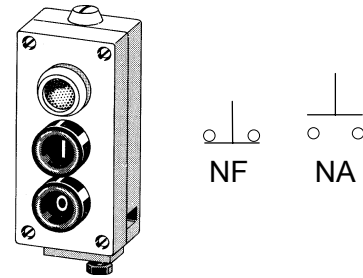



Fig. 2.5. Chave botoeira com lâmpada piloto

2.5. Chave Seletora

A chave seletora ou rotatória fecha e abre circuitos quando é girada entre posições. O knob da chave é girado e não apertado, como nas chaves botoeira. Um contato fixo ao eixo gira por meio de um knob ligado à outra extremidade do eixo. O contato se move ao longo de um circulo de material isolante que possui tiras de material condutor colocadas ao longo da circunferência. Quando o eixo gira de uma posição para a próxima, o contato rotativo faz a ligação para as tiras condutoras. Isto fecha e abre contatos desejados. Há uma marcação externa no *knob* para localizar a posição da chave.

A chave seletora é usada para selecionar duas, três, dez ou mais posições. Ela é usada tipicamente para selecionar diferentes faixas de medição de instrumentos, selecionar canais da televisão, selecionar funções de um amplificador.

Se a chave rotatória é do tipo de curto-circuito, o seu contato girante faz a ligação com o próximo terminal antes de abrir o contato com a posição atual. Esta chave é chamada de *make-before-break* (fecha-antes-de-abrir). Tal característica de *curto-circuito* fornece proteção para certos instrumentos ou equipamentos.

Há também chave rotatória do tipo não curto-circuito. Esta chave abre o circuito atual antes de fechar o circuito seguinte. Ela é também chamada de *break-before-make* (abre-antes-de-fechar).

Um anel metálico é montado sobre um wafer fenólico, não condutor. As ligações

elétricas são feitas em um suporte que desliza no anel metálico, quando ele gira. O wafer é girado para posições específicas para conseguir o chaveamento.

Na chave fechar-antes-abrir de não curto, indo de A para B, o circuito é completamente aberto na posição intermediária, como mostrado. Para a chave abrir-antes-fechar, fazendo curto, o anel giratório tem uma saliência mais larga. A largura da saliência excede a distância A-B. O circuito fica portanto ligado a A e B na posição intermediária.

Um exemplo mostra onde cada tipo de chave deve ser usado. O voltímetro deve ter uma chave seletora que não provoque curto-circuito. Entre faixas, a chave desliga a tensão para o galvanômetro. Se fosse usada uma chave de fazendo curto-circuito, os resistores seriam em paralelo. A baixa resistência temporária, 19,3 kΩ, permitiria que o excesso de corrente fluísse no galvanômetro. Neste caso, o galvanômetro deveria suportar uma corrente cinco vezes maior.

De modo contrario, o amperímetro deve ter uma chave que provoque curto-circuito. Se fosse usada uma chave que provocasse circuito aberto, o galvanômetro deveria suportar uma corrente 100 vezes maior que a especificada. Para cada faixa de corrente, um resistor paralelo é percorrido por uma corrente apropriada, com mostrado. Se não houvesse um resistor paralelo ligado no circuito entre as posições das faixas, toda a corrente da linha deveria passar pelo galvanômetro. Para uma corrente de linha de 100 mA, isto é 100 vezes a corrente especificada. Durante o chaveamento, com a chave apropriada que provoca curto-circuito, tem-se uma baixa resistência de alguns ohms.

2.6. Critérios de Seleção

O tipo de chave escolhida para uma determinada aplicação depende de muitos fatores, como:

1. a configuração, que determina número de pólos e terminais
2. a tensão a ser chaveada e o tipo de corrente (ca ou cc)
3. o valor da corrente a ser chaveada e a corrente a ser percorrida após o chaveamento
4. o ciclo de vida necessário em número de atuações
5. as considerações ambientes, como vibração, temperatura, umidade, agressividade do ambiente
6. o tamanho físico necessário
7. a velocidade de atuação
8. a capacitância parasita
9. opções, como lâmpada piloto embutida, chave de trava.

3. Chaves Automáticas

As chaves vistas até agora eram acionadas manualmente. Assim que o operador aperta o seu acionamento, seus contatos mudam de estado. Quando os contatos são retentivos, eles permanecem mudados quando o operador retira a pressão de acionamento. Quando são não retentivos, os contatos voltam a posição original quando a chave deixa de ser apertada.

Existem chaves automáticas, cuja operação é determinada pela posição de algum dispositivo ou pelo valor de alguma quantidade física. Sistemas mais complexos podem ter chaves ligadas de um modo intertravado, tal que a operação final de uma ou mais chave depende da posição das outras chaves individuais.

As principais chaves automáticas são: pressostato, termostato, chave de vazão, chave de nível, chave fim de curso.

3.1. Pressostato

Pressostato é uma chave comandada pela pressão. Uma chave elétrica muda os estados dos seus contatos quando a pressão atinge determinados valores críticos. Por exemplo, por economia e segurança, um compressor de ar deve ser desligado quando a sua pressão atingir um

valor alto determinado e deve ser religado quando a pressão atingir um valor baixo determinado. Ajustes convenientes no pressostato permitem que o compressor opere entre estes dois valores críticos de pressão.

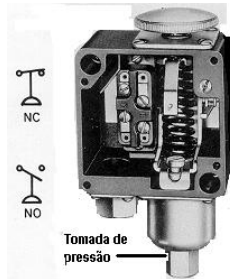



Fig. 2.6. Chave de pressão ou pressostato

O pressostato é um modo simples e barato de executar o controle liga-desliga de processos envolvendo pressão. O pressostato também pode servir de proteção de um sistema de controle de pressão. Um controlador convencional fornece uma pressão constante, dentro da banda proporcional. Quando, por algum problema do controlador ou do sistema, o controlador perde o controle e a pressão tende para um valor perigoso de alta pressão, um pressostato desliga o sistema.

Deve-se diferenciar bem a proteção fornecida pelo pressostato e a proteção oferecida pela válvula de alivio ou de segurança. O pressostato protege o sistema de pressão desligando um motor elétrico que faz a pressão subir. A válvula de alivio e a de segurança protege o sistema de pressão diminuindo diretamente a pressão do sistema, jogando para a atmosfera o fluido de alta pressão.

Como o pressostato é comandado pela pressão, ele deve ter um sensor de pressão, geralmente mecânico como o bourdon C, fole, espiral ou helicoidal.

3.2. Termostato

Termostato é uma chave comandada pela temperatura. Uma chave elétrica muda os estados dos seus contatos quando a temperatura atinge determinados valores críticos. Por exemplo, por economia e segurança, um condicionador de ar deve ser desligado quando a temperatura do ambiente atingir um valor alto determinado e deve ser religado quando a temperatura atingir um valor baixo determinado. Ajustes convenientes no termostato permitem que o condicionador opere entre estes dois valores críticos de temperatura.

O termostato é um modo simples e barato de executar o controle liga-desliga de processos envolvendo temperatura. O termostato também pode servir de proteção de um sistema de controle de temperatura. Um controlador convencional fornece uma temperatura constante, dentro da banda proporcional. Quando, por algum problema do controlador ou do sistema, o controlador perde o controle e a temperatura tende para valores perigosos de muito baixa ou muito alta temperatura, o pressostato desliga o sistema.

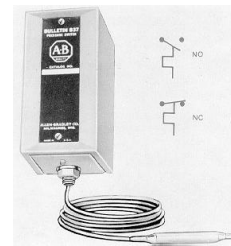



Fig. 2.7. Chave de temperatura ou termostato

Como o termostato é comandado pela temperatura, ele deve ter um sensor de temperatura, geralmente mecânico, como bimetal ou enchimento termal. Termostatos são comuns em condicionadores de ar, geladeiras e motores.

3.3. Chave de Vazão

Chave de vazão (flow switch) é uma chave comandada pela vazão. Uma chave elétrica muda os estados dos seus contatos quando a vazão de um fluido atinge determinados valores críticos. Por exemplo, por segurança, um sistema de lubrificação com óleo pode ser desligado por uma chave de vazão, quando a vazão do lubrificante ficar menor que um valor critico ajustado na chave. Ajustes

convenientes na chave de vazão permitem que o sistema de lubrificação opere de modo seguro acima de um valor critico da vazão do lubrificante.

A chave de vazão é um modo simples e barato de executar o controle liga-desliga de processos envolvendo vazão. A chave de vazão também pode servir de proteção de um sistema de controle de vazão. Um controlador convencional fornece uma vazão constante, dentro da banda proporcional. Quando, por algum problema do controlador ou do sistema, o controlador perde o controle e a vazão tende para valores perigosos muito baixo ou muito alto, a chave de vazão desliga o sistema.

Como a chave de vazão é comandada pela vazão, ela deve ter um sensor de vazão ou ser acionada diretamente pela passagem do fluido. As chaves de vazão podem operar com líquidos ou com gases (airflow switch). Há chaves de vazão térmicas ou mecânicas. A chave é inserida na tabulação de modo que a vazão do fluido passa em seu interior. Quando a vazão atinge valores críticos ajustados na chave, os seus contatos mudam para energizar bobinas de starter de motor de bomba ou de compressor.

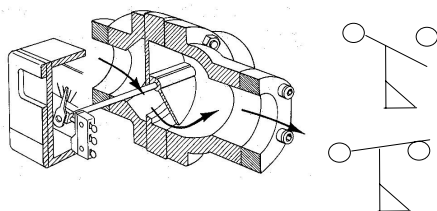



Fig. 2.8. Chave de vazão mecânica

3.4. Chave de Nível

Chave de nível (float switch) é uma chave comandada pelo nível. Uma chave elétrica muda os estados dos seus contatos quando o nível de um liquido atinge determinados valores críticos. Por exemplo, por segurança, um tanque aquecido pode ser desligado por uma chave de nível, quando o nível do liquido no seu interior ficar menor que um valor critico. Ajustes convenientes na chave de nível permitem que o nível do tanque varie dentro de uma faixa segura acima de um valor critico baixo e abaixo de um valor alto.

A chave de nível é um modo simples e barato de executar o controle liga-desliga de processos envolvendo nível de liquido. A chave geralmente liga ou desliga motores de bombas quando o nível do liquido atinge valores críticos.

A chave de nível também pode servir de proteção de um sistema de controle de nível. Um controlador convencional fornece um nível constante, dentro da banda proporcional. Quando, por algum problema do controlador ou do sistema, o controlador perde o controle e o nível tende para valores perigosos muito baixo ou muito alto, a chave de nível desliga o sistema.

Como a chave de nível é comandada pelo nível, ela deve ter um sensor de nível preferivelmente mecânico, como uma bóia flutuadora. A operação da chave pode ser controlada pelo movimento para cima ou para baixo de uma bóia que flutua na superfície do liquido. O movimento da bóia causa uma haste operar a chave. A chave acionada muda os seus contatos. Os contatos da chave fazem parte do sistema de alimentação do motor da bomba. O arranjo dos contatos, se NA ou NF, depende se a bomba está enchendo o tanque ou esvaziando-o, se o tanque é seguro quando vazio ou cheio.

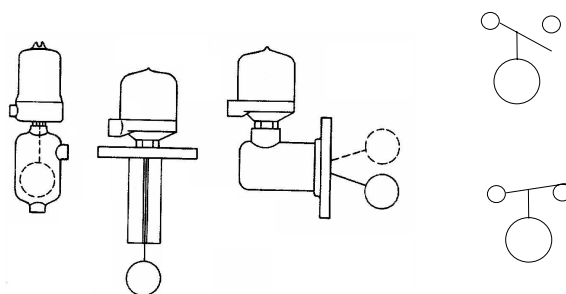



Fig. 2.9. Chave de nível acionada por bóia

3.5. Chave Limite ou Fim de Curso

A chave limite ou fim de curso é acionada automaticamente pelo movimento de alguma maquina ou dispositivo. Ela deve ter uma resposta instantânea e ser confiável.

Em geral, a operação de uma chave limite começa quando uma peça em movimento bate em uma alavanca que atua a chave. Quando acionada, a chave muda os seus contatos.

O tamanho, força de operação, percurso e modo de montagem são os parâmetros críticos na instalação da chave fim de curso. As especificações elétricas da chave devem estar de conformidade com a carga a ser acionada.

As chaves fim de curso podem ser usadas como piloto em circuitos de controle de motores, como proteção ou emergência para evitar o funcionamento impróprio de maquinas. As chaves limites podem ter contatos momentâneos ou retentivos.

Fig. 2.10. Chave limite

4. Solenóide

4.1. Conceito

O solenóide é um dispositivo usado para transladar sinais elétricos ON/OFF em movimentos mecânicos ON/OFF. Válvula é um dispositivo mecânico projetado para controlar a vazão de fluidos. Válvula solenóide é uma combinação destes dois componentes básicos:

1. válvula contendo uma abertura com a posição de um disco ou haste para regular a vazão e
2. solenóide, que é o dispositivo eletromagnético com a bobina.

A válvula é aberta ou fechada pelo movimento do núcleo, que é comandado pela passagem ou não da corrente através da bobina do solenóide. A válvula retorna automaticamente para sua posição original quando a corrente é interrompida.

No solenóide, uma haste é mantida na posição superior através de uma mola, enquanto o solenóide estiver desligado eletricamente (desenergizada). Quando a bobina for percorrida por uma determinada corrente, cria-se um campo magnético dentro do núcleo da bobina. Este campo magnético resultante age na haste, empurrando-a para baixo contra a pressão da mola. A haste do solenóide tem uma projeção externa que é fixada ao equipamento mecânico a ser operado.

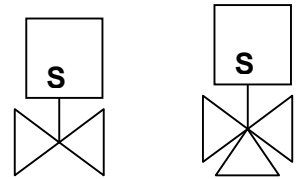
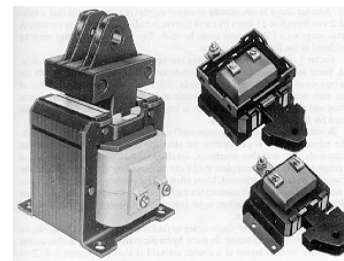



Fig. 2.11. Solenóides

4.2. Seleção

Na escolha do solenóide para uma aplicação, devem ser considerados os seguintes fatores:

1. tamanho da carga mecânica a ser movida
2. distância do percurso (stroke)
3. ambiente de operação
4. tipo da ligação elétrica
5. tensão e tipo da corrente, ca ou cc
6. valor da corrente (manutenção e transitória)
7. vida útil, expressa em atuações por minuto

O tamanho da carga mecânica a ser acionada pelo solenóide é expresso em gramas; varia entre alguns gramas até 30 kg. A força deve ser maior que a carga por, no mínimo, 25%. Quanto maior a carga a

ser acionada, maior o tamanho e o custo do solenóide.

A distância a ser acionada deve ser igual ou maior do que o movimento linear externo necessário.

O ambiente de contorno é importante. A classificação mecânica do invólucro deve ser compatível com a atmosfera de trabalho, para que o solenóide sobreviva e funcione normalmente. Deve ser considerada a atmosfera circundante (poeira, óleo, umidade, gases corrosivos) e o nível de vibração mecânica da área. Solenóide sob vibração pode esquentar muito, se desgastar anormalmente e ter a vida útil encurtada.

Como o solenóide é um dispositivo elétrico, sua classificação elétrica deve ser compatível com a classificação da área. São disponíveis solenóides com invólucro à prova de explosão e intrinsecamente seguras, compatíveis com áreas de Divisão 1 e 2, Grupos B, C e D.

O tipo de ligação elétrica se refere pode ser através de plugs, rabo de porco (pigtail) ou terminais com parafuso.

A tensão é tipicamente 110 V ca; pode-se ter também 24 V ca. Outra consideração importante é o tipo de tensão: ca ou cc. Os solenóides são construídos especificamente para operação em ca ou em cc. Assim, um solenóide de 110 V ca não pode ser usado em 110 V cc.

A corrente do solenóide é também importante. Quando energizada, o solenóide puxa a corrente especificada. A linha elétrica e o fusível devem ser dimensionados de acordo com esta corrente. Outro fator a considerar na especificação do solenóide é que, na partida, ela puxa de 5 a 15 vezes sua corrente especificada de regime, dependendo do tamanho. Um pico de corrente em um solenóide de 5 A pode atingir 45 A. Esta corrente transitória deve ser considerada na escolha do fusível.

O ciclo de trabalho se refere à freqüência de operação do solenóide. Alguns solenóides ficam ligados uma vez durante um tempo pequeno. Outras ficam ligadas durante longos períodos e ficam desligadas por pouco tempo. Outras são operadas muitas vezes cada segundo. Os solenóides que operam em alta freqüência são sujeitas e maior aquecimento e maior tensão mecânica. É importante que o solenóide apropriado seja escolhido para o ciclo de trabalho necessário.

A falha do solenóide ocorre normalmente com a queima da bobina ou defeito mecânico ou ambos. Se o percurso do solenóide é incompleto, a bobina elétrica puxa corrente excessiva. A bobina se aquece, desenvolve espiras em curto e se queima, se não é protegida corretamente por fusíveis. Um deslocamento incompleto pode ser causado pelo desgaste das partes mecânicas do solenóide. Freqüentemente, um percurso incompleto ocorre quando o mecanismo em que o solenóide é fixado fica bloqueado em uma posição intermediária. A proteção através do fusível correto é a melhor precaução para evitar queima elétrica.

4.3. Tipos

As válvulas solenóides podem ser classificadas em vários tipos, em função de sua ação, número de vias e corrente.

O solenóide pode ser de única ação ou de dupla ação. As válvulas solenóides de dupla ação são usadas em sistemas hidráulicos.

As válvulas solenóides podem ter duas ou três ou quatro vias. As válvulas de duas vias são as mais comuns: elas possuem uma entrada e uma saída. As válvulas de três vias podem ter duas entradas e uma saída ou podem ter uma entrada e duas saídas. As válvulas de quatro vias são usadas em controle de cilindro de dupla ação. Quando a bobina está desligada, um lado do pistão está à pressão atmosférica e o outro está pressurizado. Quando a bobina é energizada, a válvula joga o lado de alta pressão para a atmosfera. Como resultado, o pistão e sua carga agem reciprocamente em resposta ao movimento do solenóide.

O solenóide pode operar com corrente alternada ou continua. Os solenóides operados com corrente alternada são mais comuns e simples. Normalmente elas são protegidas com capacitores de surge ou diodos dos picos de tensão resultantes da abertura e fechamento rápidos.

O corpo da válvula solenóide se comporta como o de uma válvula

convencional. Todos os cuidados aplicáveis a uma válvula de controle referentes à vedação, estanqueidade, selagem e classe de pressão se aplicam à válvula solenóide.

Geralmente a válvula solenóide é assimétrica, ou seja, sua entrada é diferente da saída e elas não podem ser invertidas.

Uma válvula solenóide é diferente de uma chave de vazão. Embora ambas possam prover um controle liga-desliga da vazão, a válvula solenóide é operada por um sinal elétrico externo à válvula. A chave de vazão também corta ou permite uma vazão, porém é comandada pela própria vazão. Quando a vazão atinge um valor critico pré-ajustado, a chave muda os seus contatos, desligando o motor da bomba ou compressor e tornando a vazão zero. Quando se quer cortar a vazão de uma válvula solenóide, basta energizar (ou desenergizar) a sua bobina.

5. Relés

5.1. Definição e Funções

O relé é uma chave comandada por uma bobina. Ele é uma chave porque ele liga-desliga um circuito elétrico, permitindo a passagem da corrente elétrica como o resultado do fechamento de contato ou impedindo a passagem da corrente durante o estado de contato aberto. Diferentemente da chave convencional que é acionada manualmente, o relé não necessita da intervenção humana direta para ser operado. O relé eletromecânico é um dispositivo que inicia a ação num circuito, em resposta a alguma mudança nas condições deste circuito ou de algum outro circuito.

O relé é geralmente usado para aumentar a capacidade dos contatos ou multiplicar as funções de chaveamento de um dispositivo piloto adicionando mais contatos ao circuito. Sob o ponto de vista de entrada-saída, o relé pode também ser considerado como amplificador e controlador. Ele tem um ganho de potência, que é a relação da potência manipulada na saída sobre a potência de entrada. Assim um relé pode requerer uma corrente da bobina de 0,005A em 50 V mas pode controlar 2500 W de potência, com ganho de 10.000.

5.2. Características

Os relés controlam a corrente elétrica por meio de contatos que podem ser abertos ou fechados. Os contatos apresentam altíssima resistência quando abertos e baixíssima resistência quando fechados. Eles podem ter múltiplos contatos, com cada contato isolado eletricamente de todos os outros. Os contatos são atuados numa seqüência definida e positiva.

A bobina de atuação usualmente é isolada completamente do circuito controlado. Ela pode ser atuada por energia elétrica de características totalmente diferentes do circuito controlados. Por exemplo, mA cc pode controlar kW de RF.

Cada uma das várias estruturas mecânicas possui vantagens e desvantagens. Alguns respondem rapidamente, menos de um microssegundo, mas não podem manipular com segurança grande quantidade de energia. Alguns manipulam grande quantidade de energia, mas são lentos. Aproximadamente todas as formas são disponíveis com contatos abertos, com invólucros vedados à poeira ou hermeticamente selados. Alguns são a vácuo para manipular altíssimas tensões. Alguns possuem contatos apropriados para manipular tensões de RF e para evitar acoplamentos capacitivos.

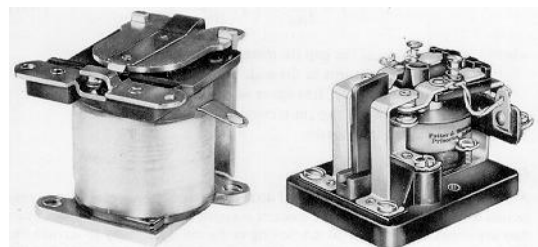



Fig. 2.12. Bobina de relé eletromecânico

Os relés de controle são disponíveis em vários arranjos de contatos NA e NF de simples ou duplo throw. Em muitos relés é possível a mudança de contatos NA em NF e NF em NA, através da mudança da posição da mola.

Há os relés de estado sólido, que utilizam transistores SCR, triacs e não são eletromecânicos. Nestes dispositivos, o circuito controlado é isolado do circuito de controle por um transformador, acoplador óptico ou por um relé eletromecânico.

5.3. Aplicações

A função de um relé é a de abrir ou fechar um contato elétrico ou um conjunto de contatos, em conseqüência da mudança de alguma condição elétrica. Estes fechamentos e aberturas são usados em circuitos associados para selecionar outros circuitos ou funções, para ligar ou desligar outras funções. Esta mudança da condição elétrica é o *sinal*.

Há algumas centenas de relés diferentes. O relé é usado para muitas funções de controle. Entre suas características importantes para uso em circuitos de controle estão:

1. operação remota
2. operação lógica
3. controle de alta tensão através de baixa tensão
4. isolação entre circuito de controle e de chaveamento

Os relés podem ser usados para

1. ligar e desligar correntes ou tensões em ambientes hostis, no espaço sideral ou em processos industriais onde a temperatura pode ser extremamente alta ou baixa e perigosa à saúde humana
2. monitorar altas correntes e tensões de modo automático ou manual e em condições perigosas
3. operar simultaneamente vários circuitos ou equipamentos em altas velocidades
4. ligar e desligar equipamentos em sistemas lógicos de intertravamento, só permitindo a operação de um equipamento quando algum evento tenha ocorrido
5. proteger equipamentos de sobrecarga ou sob carga, quando a tensão, corrente, temperatura, pressão, vazão, nível ou qualquer outra variável do processo varie além dos limites máximos e mínimos estabelecidos
6. evitar a aplicação de tensão por um determinado intervalo de tempo em sistema de proteção com purga ou pressurização ou permitir que certos componentes se aqueçam antes de operar, através de atrasos predeterminados
7. bloquear, sincronizar, variar taxas, detectar freqüências, detectar diferenças de percentagens em aplicações especiais.

5.4. Tipos de Relés

Os relés podem ser acionados por ca e cc. Podem manipular microvolts a kilovolts, microamperes e kiloamperes.

Os relés eletromecânicos são disponíveis em variadas faixas de arranjos de contatos. Um relé a semicondutor é muito usado como piloto para um relé eletromecânico.

A isolação elétrica entre contatos deve ser muito elevada de modo que não haja vazamentos, mesmo com altas tensões. O espaçamento dos contatos deve ser grande para evitar arcos voltaicos no controle de alta tensão. O acoplamento capacitivo deve ser mantido baixo.

O relé eletromagnético é atuado por força eletromagnética, que é produzida por corrente elétrica fluindo através da bobina. Na maioria dos relés, a força magnética move uma armadura de ferro. Em outros relés, especialmente em relés de medição, a bobina é que se move no campo magnético.

Quando não há corrente na bobina, a armadura é mantida afastada do núcleo da bobina por uma mola e há contato com A.

Quando há corrente na bobina, o campo magnético produzido atrai a armadura para o núcleo da bobina, diminuindo o espaçamento de ar. Quando diminui o espaçamento, a força de atração aumenta, fazendo o contato sair de A e ir para B. A força de atração da bobina vence a força de resistência da mola de retorno.

Quando a bobina é percorrida pela corrente, ela atrai a armadura. A armadura muda os contatos: o que era aberto, fecha, o que era fechado, abre.

Estes relés podem operar em ca e cc. Quando se tem ca, um anel de cobre é usado para evitar aberturas e fechamentos sucessivos. Quando se tem cc, obtém-se o controle da resposta do relé

Reed relé

Duas palhetas de material magnético montadas em uma cápsula de vidro instalada dentro de uma bobina constituem um reed relé. A corrente fluindo através da bobina produz um campo magnético, magnetizando as palhetas, fazendo-as se atraírem mutuamente, fazendo contato. As superfícies de contato são revestidas de ligas metálicas preciosas. A ação mola requerida é provida pelas lâminas em si. Reed relés são os mais rápidos relés (eletromagnéticos) eletromecânicos: operam com menos de 500 microssegundos. Eles são disponíveis em várias configurações de contatos. Eles podem ser polarizados, podem ser feitos em *latch* relé que mantém a ultima posição assumida, mesmo quando a bobina é desenergizada, com a adição de pequenos elementos magnéticos permanentes.

Reed relés são disponíveis com contatos secos ou a mercúrio (molhado). Mais de um conjunto de lâminas pode ser usado com uma única cápsula ou várias cápsulas podem ser operadas por um único conjunto de bobina. Vantagens do Reed relés: rápidos, pequenos, alta confiabilidade e durável: > 10 de operações.

Relé eletromecânico

O tipo mais comum de relé é o eletromecânico (EMR). O relé eletromecânico combina os princípios de chaveamento mecânico com a atuação do solenóide elétrica. Quando o solenóide é energizada ou desenergizada, ela move uma haste em uma direção e a pressão de uma mola move a haste em direção contraria. A haste, por sua vez, abre e fecha contatos. Os contatos são especificados no estado não atuado, como NA ou NF. Os contatos de um relé podem ser múltiplos.

Alguns relés eletromecânicos são do tipo retentivo (latching). Os relés retentivos fecham quando se aplica potência aos dois terminais da bobina. Quando a potência é removida da bobina, o relé permanece na posição selada. Para soltar, deve-se ou desligar o relé ou aplicar potência em terminais diferentes do relé. Energizando os terminais não selantes aplica-se potência em outra bobina, que libera a haste. A haste então retorna à sua posição original. Relés com retenção são usados em aplicações onde o relé é ligado por longos períodos. A potência pode ser removida durante a operação ligada normal. Note que o relé de retenção ou com selagem não deve ser usado para configuração de falha segura (fail safe). Deve-se aplicar potência para desligar um circuito, este circuito não é de falha segura.

Outro tipo comum de é o reed relé. O reed relé é de ação rápida, possui uma longa vida útil, usa baixa potência e é compacto. Muitos reed relés são do tipo *plug in*, tornando fácil sua substituição. O reed relé usa a ação magnética para sua operação e não a ação do solenóide. Pela ação magnética, quando a bobina do relé é energizada, ela produz um campo magnético. O material do braço do contato é magnético. Assim, as duas tiras do contato se tornam magnetizadas e se atraem entre si. Quando os contatos se encontram, o circuito elétrico é fechado. Quando a potência é removida da bobina. os contatos se reabrem pela ação da mola dos braços do contato. Alguns contatos do reed relé são de mercúrio, para aumentar a vida do relé. Eles são muito mais caros.

Relé a estado sólido

Atualmente são disponíveis os relés de estado sólido (SSR). O relé de estado sólido substitui o relé eletromecânico em várias aplicações. O relé a estado sólido não possui peças móveis. O chaveamento liga e desliga é conseguido eletronicamente.

O relé a estado sólido pode ser usado para controlar cargas cc ou ca. Se o relé é projetado para controlar uma carga cc, um transistor de potência é usado para ligar a carga à linha.

O acoplador óptico do relé possui um par casado: diodo emissor de luz e diodo fotodetector. O diodo emissor de luz (LED) está ligado à entrada e o diodo fotodetector está na saída. Quando a tensão de entrada liga o LED, o fotodetector ligado à base do transistor faz o transistor conduzir, energizando a carga. Neste tipo de relé o feixe de luz serve como o isolador entre o circuito de controle e a carga do circuito.

Alguns relés a estado sólido usam um conjunto de contatos reed para disparar

um triac. O circuito de controle é ligado à bobina do reed relé Quando a tensão de controle faz a corrente fluir através da bobina, aparece um campo magnético em torno da bobina do relé, que fecha os contatos reed, fazendo o triac conduzir. Neste tipo de relé o campo magnético serve como o isolador entre o circuito de controle e a carga do circuito.

Na instrumentação, os relés competem com diodos SCR, chaves a semicondutor e transistores.

As vantagens do relé eletromecânico sobre o relé a semicondutor são :

1. baixa resistência e portanto baixa queda de tensão quando fechados e alta resistência quando abertos (fornecem boa isolação entre o circuito controlado de alta energia com o circuito de baixa energia)
2. manipulação de altas tensões e correntes, em larga faixa de freqüências.
3. operação em condições ambientais adversas.
4. tamanho pequeno, baixo custo e simplicidade.
5. memória funcional que não é perdida pela ausência da alimentação.

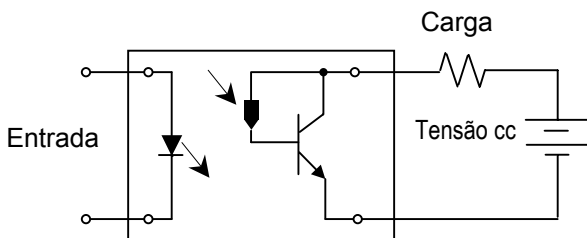
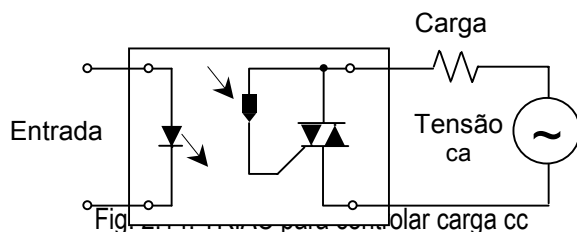



Fig. 2.13. Transistor de potência para carga cc

Fig[illegible]olar carga cc

As desvantagens do relé eletromecânico:

1. são mais lentos
2. são sensíveis às vibrações
3. são mais volumosos
4. Os relés especiais mais comuns são:
5. contadores seqüenciais com contatos de transmissão
6. relés eletro-ópticos (acoplamento entre atuador e circuito de fechamento e raio de luz)
7. relés de medição com sensibilidade de 20 mW
8. relés de medição com 2 ou mais valores de atuação.
9. relés reed ressonantes para chaveamento com controle remoto.

Relé temporizado

O relé temporizado é útil para provocar uma ação atrasada por um breve período após uma outra ação, em casos onde o período de tempo é critico. Não se deve confundir relé temporizado termal com o temporizador, contador e programador de altíssima precisão.

Os relés temporizados são similares aos outros relés de controle em que eles usam uma bobina para controlar a operação dos contatos. A diferença entre um relé de controle e um relé de atraso é que os contatos do relé temporizado demoram um determinado tempo ajustável para alterar seus contatos quando a bobina é energizada ou desenergizada.

Os relés temporizados ou relés de atraso de tempo podem ser classificados em relé de on-delay ou de off-delay. Quando a bobina de um relé temporizado on-delay é energizada, os contatos mudam os estados depois de um determinado atraso. Por exemplo, o timer foi ajustado para 10 segundos e o contato é NA. Quando a bobina é energizada no relé on-delay, o contato continua aberto durante 10 segundos e depois fecha. Quando a bobina for desligada, o contato volta imediatamente para a posição NA.

A operação do timer off-delay é oposta a do timer on-delay. Para o exemplo do timer ajustado para 10 segundos e para o contato NA, quando a bobina do relé off-delay for energizada, o contato imediatamente muda para fechado. Quando a bobina for desenergizada, porém, o contato permanece fechado por 10 segundos e depois abre.

Nos esquemas, os timers podem ter símbolos diferentes para seus contatos. As abreviações TO e TC são usadas para indicar um contato operado pelo tempo. TO se refere a tempo para abertura e TC, tempo para fechamento. O TC deve ser usado com relé on-delay para indicar o tempo atrasado quando fechando e TO deve ser associado com timer off-delay, para indicar o tempo atrasado quando abrindo.

Assim, na norma NEMA, tem-se os contatos

1. NOTC no contato on-delay - normalmente aberto tempo fechando,
2. NCTO no contato off-delay - normalmente fechado tempo abrindo.

Há vários princípios de funcionamento para os relés temporizados: dashpot, bimetal-térmico, pneumático, eletrônico (circuito RC).

5.5. Seleção de Relés

Fatores que afetam a seleção: custo, tamanho, velocidade e energia requerida. Parâmetros mais restritivos: limitações de montagem, contatos selados ou abertos, proteção contra geração de faíscas, proteção contra condições ambientais desfavoráveis.

Para que os relés sejam aplicados corretamente, as funções dos relés devem ser claramente entendidas, as características devem ser definidas, o relé deve ser escolhido para satisfazer a necessidade e o circuito deve ser projetado para casar corretamente o relé com o resto do sistema. Assim, devem ser definidos.

1. a energia a ser controlada,
2. o sinal de controle disponível,
3. a quantidade de contatos necessária,
4. as condições ambientais,
5. necessidade de relés selados,
6. espaço disponível para o uso do relé
7. problemas de vibração, ruídos e temperatura,
8. proteção dos contatos contra arcos voltaicos, faíscas, solda por derretimento,
9. manutenção dos contatos sempre limpos, principalmente para baixas correntes.

6. Temporizadores

O temporizador, como o contador, é um dispositivo lógico que permite o sistema automático ativar equipamentos de saída, durante um estágio específico na operação do processo. Ele é usado para atrasar ciclos de partida e parada, intervalos de controle, ciclos operacionais repetitivos e tem a capacidade de rearmar o sistema ao fim destes ciclos.

O temporizador pode ser disponível em lógica de relé (eletrônico ou eletromecânico) ou como função lógica do Controlador Lógico Programável.

Os temporizadores pneumático e mecânico possuem a mesma aparência, com um dial para ajustar o tempo de atraso desejado. O símbolo de um temporizador é o mesmo para os vários tipos diferentes. Um círculo simboliza a bobina ou motor temporizado. Este elemento do temporizador é usado para rodar o intervalo de tempo ajustado. No fim do intervalo predeterminado, os contatos elétricos mudam de estado, de aberto para fechado ou de fechado para aberto.

É possível fazer quatro combinações de temporizadores, considerando a lógica de atraso para ligar (TON) ou atraso para desligar (TOFF) e os contatos normalmente abertos (NA) ou normalmente fechados (NF). Assim, tem-se:

1. NO/ON/TC (normally open, timed-closing - normalmente aberto, temporizado para fechar, ligando)
2. NC/ON/TO (normally close, timed-opening - normalmente fechado, temporizado para abrir, ligando)
3. NO/OFF/TC, (normally open, OFF timed closing - normalmente aberto, desligam fechando com o tempo).
4. NC/OFF/TO (normally close timed opening (NC/OFF/TO, normalmente fechado, desliga abrindo com o tempo.

Seus símbolos são diferentes.

O tipo de temporizador mais comum é time-delay TON: depois do intervalo de tempo predeterminado ser completado, depois da bobina ser energizada, os contatos mudam de estado, de aberto para fechado ou de fechado para aberto. Quando a bobina é desenergizada, os

contatos voltam ao seu estado original, instantaneamente. Alguns temporizadores podem ser resetados por um circuito separado e não resetados automaticamente quando a bobina for desenergizada.

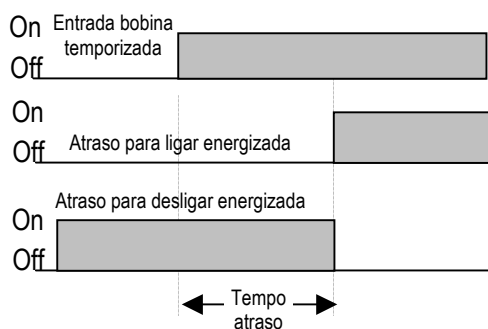



Fig. 2.15. Gráfico do tempo para timer TON

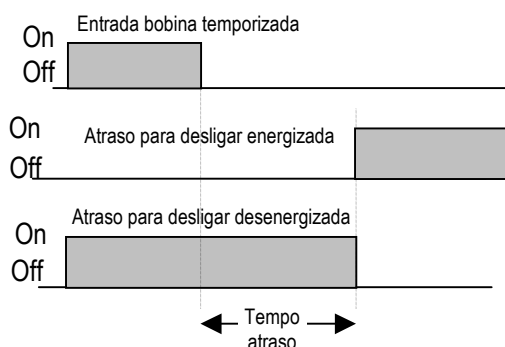



Fig. 2.16. Gráfico do tempo para timer TOFF

Alguns temporizadores mudam de status dos contatos da saída, depois de intervalo de tempo, quando a bobina é desenergizada, são os TOFF.

Em situações de temporização, devem ser considerados os status da saída em três tempos:

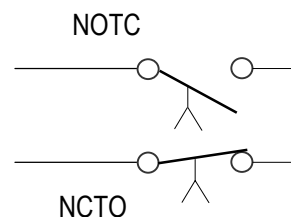
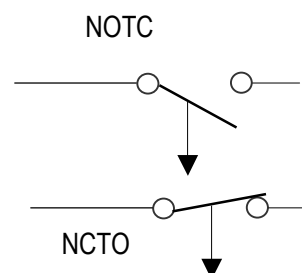
1. antes de partida, quando o circuito está no estado predeterminado,
2. durante o período de contagem do tempo,
3. após o intervalo de tempo ter expirado, quando o circuito é acionado.

(a) Atraso para energizar

(b) Atraso para desenergizar

Fig. 2.17. Contatos temporizados

Em circuitos de lógica de relés, os temporizadores e contadores são unidades individuais montadas no painel e fiadas fisicamente.

Para a função de temporização do CLP, o temporizador é gerado no programa, chamando-o como uma função especial. Há somente um tipo de função de temporização no CLP: atraso de tempo de ligar. Qualquer outro tipo de necessidade de temporização pode ser realizado pelo uso de combinações de um número de funções de temporização no CLP.

Quando a função de temporização é chamada pelo teclado, aparece o bloco do temporizador. O bloco é programado com três parâmetros:

1. número ou tag do temporizador, p. ex., TS017 ou 31.
2. o valor do tempo do intervalo de temporização, p. ex., 14 s para cada formato
3. registro especificado onde a contagem se processa, p. ex., HR101 ou função 31.

Há duas entradas para a função de temporização:

1. entrada que começa a função de intervalo de temporização,
2. entrada que habilita - rearme (enable - reset).

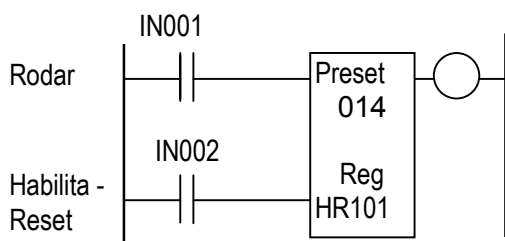
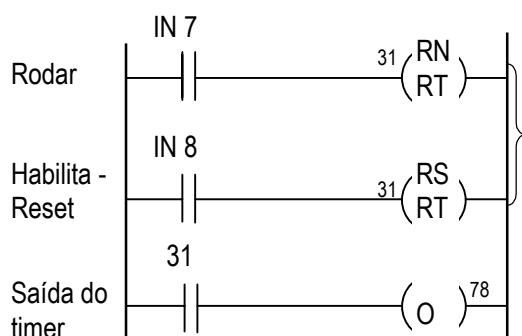
Quando a entrada enable - reset está desligada, o temporizador não conta mesmo se a linha de contagem estiver ligada. Quando a entrada enable - reset está desligada, o temporizador pode contar. Quando a entrada enable - reset é desligada após o temporizador terminar o tempo, o temporizador é resetado para zero.

(a) Formato de bloco

(b) Formato de bobina

Fig. 2.18. Temporizador com duas entradas

Preset é onde o valor da temporização é estabelecido. Ele pode ser uma constante ou um registro designado.

Reg. é o registro designado em que a contagem ocorre.

Um temporizador deve ter duas entradas. A entrada IN002 é a linha de habilitar-resetar, que permite o temporizador rodar quando energizado. Quando desenergizado, o temporizador é mantido em 0 ou resetado para 0. A linha IN001 faz o temporizador rodar quando o ele for habilitado. Quando habilitado, o temporizador roda enquanto IN001 estiver energizada. Se IN001 é desenergizada enquanto o temporizador estiver rodando, ele pára onde estiver e não é resetado para 0.

No formato bloco, seja IN 002 fechada e IN 001 ligada. Após 6 segundos, IN 001 é aberta. O temporizador retém a contagem de 6. Como o tempo ainda não atingiu o valor predeterminado de 14, a saída do temporizador ainda está desligada. O temporizador não reseta até que IN 002 seja aberta. Se algum tempo mais tarde IN 001 é fechada novamente, ele conta mais 8 segundos depois do fechamento de IN 001, e a bobina do temporizador irá energizar quanto atingir 14 (6 + 8).

No formato bobina, IN7 é para temporizar RT31 = RN. IN8 habilita RT31 – RS. Quando o temporizador liga, sua saída 31 (interna) liga a saída 78.

Tab. 4.1. Seqüência do temporizador

Status Reset	**Tempo durante**	**Tempo expirado**	**Convenção**
Aberto	Aberto	Fechado	O O X
Aberto	Fechado	Aberto	O X O
Fechado	Aberto	Fechado	X O X

O – contato aberto
X – contato fechado

6.1. Atraso para ligar

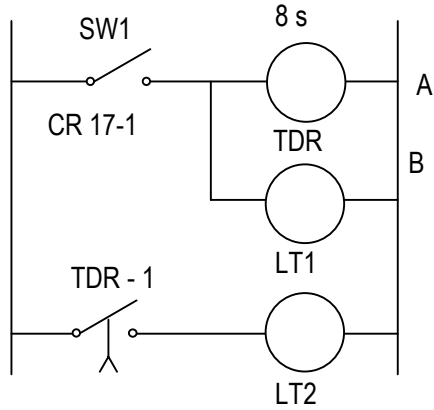
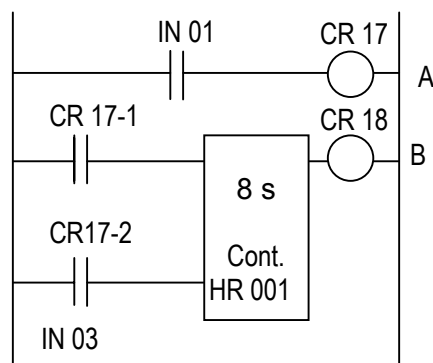
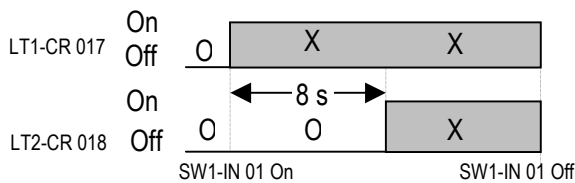
Quando o circuito é ligado, ocorre uma ação. Depois de um determinado tempo, ocorre outra ação. São mostradas as lógicas com relé e com CLP.

(a) Diagrama elementar

(b) Bloco funcional do CLP

(c) Diagrama de tempo

Fig. 2.19. Temporizador para ligar

1. Quando a chave SW1 é ligada, lâmpada A acende
2. Oito segundos depois, lâmpada B acende
3. As duas lâmpadas apagam ou permanecem apagadas, sempre que SW1 estiver aberta.

6.2. Atraso para desligar

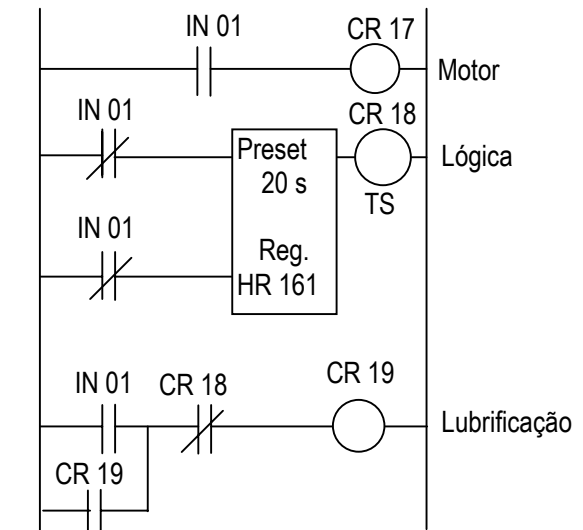
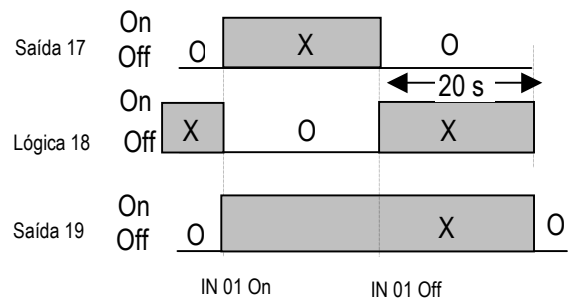
Tem-se dois motores: principal e da bomba de lubrificação. O motor de lubrificação deve ser ligado durante um intervalo de tempo (e.g., 20 s) e depois desligado, e o principal continua operando.

(a) Bloco funcional do CLP

(b) Diagrama de tempo

Fig. 2.20. Temporizador para desligar

7. Contadores

Os contadores podem ser mecânicos, elétricos ou eletrônicos. Um contador não reseta automaticamente quando a sua bobina é desenergizada, como faz o temporizador. Se fosse assim, ele contaria até 1 e resetaria em 0 e não sairia disso. O contador necessita de um dispositivo ou ligação separada para resetá-lo. Os contadores podem ser crescentes (contagem sobe continuamente) ou decrescentes (contagem desce continuamente).

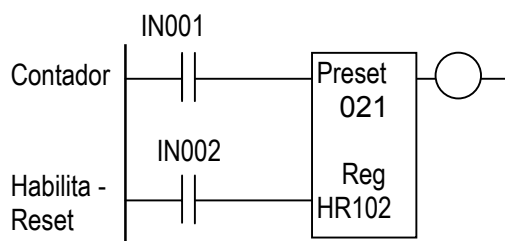
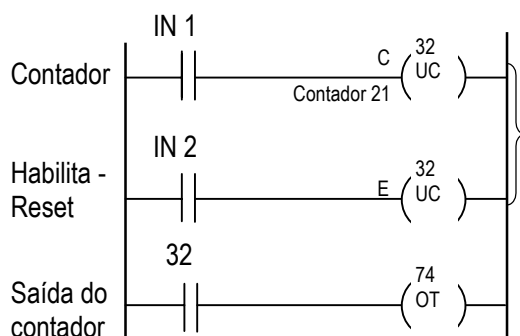
A função de contador do CLP opera de modo semelhante à função do temporizador. Quando a linha enable - reset está ligada, o contador conta uma vez cada momento que a linha de contagem é ligada. Quando uma contagem predeterminada é atingida, a saída fica ligada. A contagem predeterminada pode ser uma constante, como mostrada, ou pode ser contida em um registro, como na função temporizador do CLP. Quando a linha enable - reset é desligada, o contador reseta para zero.

(b) Formato de bloco

(b) Formato de bobina

Fig. 2.21. Contador básico

Preset é onde o valor da contagem é estabelecido. Ele pode ser uma constante ou um registro designado.

Reg. é o registro designado em que a contagem ocorre.

Um contador deve ter duas entradas. Se IN002 está aberta, o contador está em 0, quando IN002 é fechada, o contador é habilitado. Em qualquer tempo durante a operação que IN002 é reaberto, o contador reseta para 0.

No formato bloco, quando habilitado, o contador irá contar cada vez que a entrada IN 001 vai de aberta para fechada. Ele não conta quando IN 001 vai de fechada para aberta. Seja a contagem ajustada para 21. Começando de 0, o contador incrementa um número cada vez que os pulsos de entrada se ligam. Quando a contagem 21 é atingida, não há mais mudança na saída. A saída fica ligada e o contador continua a incrementar.

A função contagem crescente é parecida com a contagem decrescente, exceto que uma contagem aumenta a outra diminui.

Se o contador fosse decrescente, ele começaria em 21. Quando os pulsos de entrada são recebidos em IN 001, o contador diminui de 21, 20, 19, ...). Quando o contador atinge 0, a saída do contador fica energizada. Qualquer pulso adicional que chega na entrada IN 001 não afeta o status da saída IN 001.

No formato bobina, as contagens de pulsos são por IN1 a UC 32. A contagem ajustada é 21. O comando Habilita – Reset é feito por IN02. Quando uma contagem de 21 é atingida, o contato 32 energiza a saída 74.

Para alguns formatos de contador, não mostrados aqui, uma linha de uma função contador em cada bloco é a linha de habilitação. A detecção da contagem é feita pela função bloco de um registro específico ou entrada no bloco. Uma linha de reset para o bloco contador é incluída depois no programa ladder.

A operação de contagem é normalmente não retentiva. Abrindo a entrada habilitada IN 002, em qualquer momento, irá resetar o contador para 0, no CLP. Quando IN 002 é fechada de novo, a contagem não é retida como um ponto de nova partida.

7.1. Contagem simples

Após um determinado número de contagens, a saída do contador liga, para energizar um indicador. O status da saída pode também ser utilizado na lógica do diagrama ladder na forma de um contato.

O contador funciona se sua linha de habilitação é energizada. Depois que a entrada de contagem atinge 18 pulsos, a saída do relé é energizada.

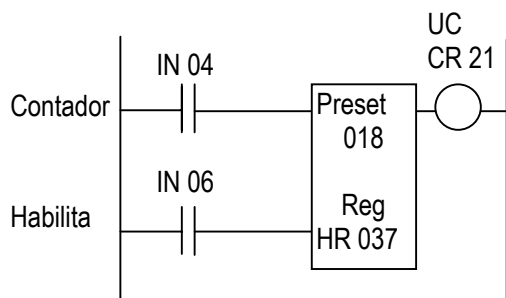



Fig. 2.22. Operação básica do contador no CLP

7.2. Dois contadores

A aplicação envolve dois contadores. Quer-se que um indicador de saída fique ligado quando houver 6 peças de uma esteira C e oito peças de uma esteira D entrada na esteira comum E. O circuito monitora as duas contagens. IN 02 e IN 03 são sensores de proximidade que dão um pulso quando uma peça passa por eles. O circuito não indica mais do que seis ou oito peças, ele somente indica quando há peças suficientes.

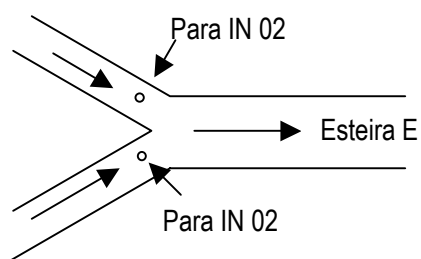
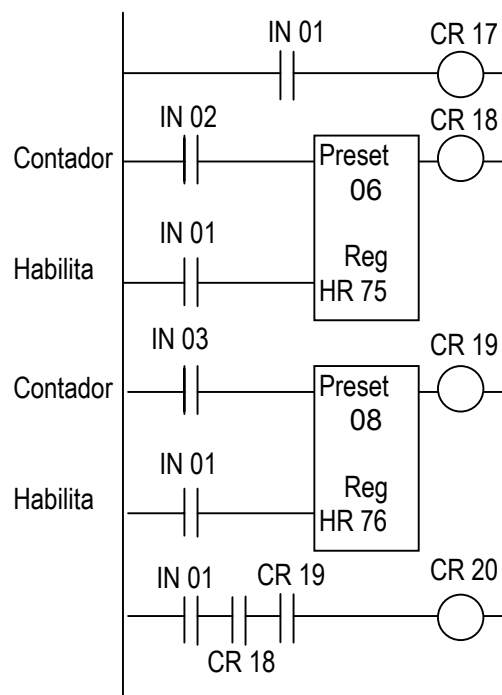
Para repetir o processo, abrir IN 01 para resetar o sistema. Depois , fechar de novo IN 01.

(a) Lógica das esteiras

(b) Diagrama ladder

Fig. 2.23. Aplicação com dois contadores

CR 17 – relé mestre do sistema
CR 18 – Lógica para contar até 6 (C)
CR 19 – Lógica para contar até 8 (D)
CR 020 – vai para uma lâmpada piloto para indicar quando, no mínimo, 6 peças A e 8 peças B entraram na esteira E.

7.3. Número de peças

O sistema é para contar a diferença do número de peças que entram e que saem de uma esteira.

O número de peças que entram na esteira é contado pelo contador com entrada IN 02 e o número de peças deixando a esteira é contado pelo contador com entrada IN 03. Cada contador é alimentado pela saída de uma chave de proximidade.

É necessário que a contagem inicial seja exata. Quando começando a operação, o número de peças na esteira deve ser determinado. Este número de contagem é programado no registrador comum, HR 101. Normalmente, é necessário colocar este número no contador decrescente, como o número predeterminado. Então, qualquer peça indo na esteira, pulsa o contador crescente. O registro do contador, que é comum aos

dois contadores, tem seu valor aumentado por um, para cada peça que entra. Do mesmo modo, as peças deixando a esteira diminuem a contagem do registro comum através do contador decrescente. O valor no registro HR 101 representa o número de peças na esteira, assumindo que nenhuma peça caiu da esteira e nenhuma foi colocada no caminho.

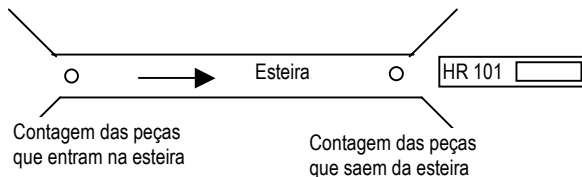
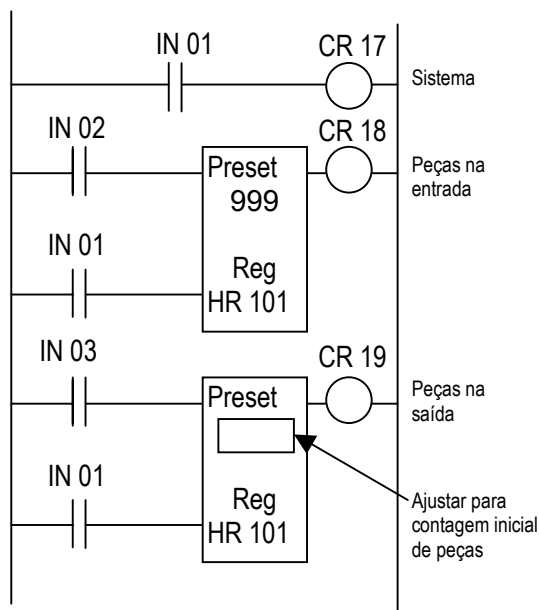
O valor do contador crescente não importa, nesta aplicação. Não importa se suas saídas estão ligadas ou desligadas. A lógica da saída não é usada. Na figura, o valor colocado predeterminado é 999, arbitrário.8. Dispositivos de Proteção

(a) Lógica da esteira

(c) Diagrama ladder

Fig. 2.24. Aplicação para contagem de número de peças na esteira

8. Proteção de Circuitos

Grandes picos de correntes provenientes de sobrecargas ou curtos-circuitos podem ocorrer acidentalmente em circuitos elétricos. Tais picos de corrente podem destruir componentes, provocar choques elétricos ou resultar em incêndios, se não forem parados a tempo. Para proteger os sistemas contra os danos de tais sobrecargas inesperadas, são usados dispositivos de proteção. Os mais comuns são

1. fusível
2. disjuntor
3. limitador de corrente
4. térmico

8.1. Fusível

O fusível é basicamente um pedaço de fio fino projetado para se aquecer e derreter quando for percorrido por uma corrente maior do que a especificada. O fusível é colocado em série com o circuito a ser protegido. Os fusíveis devem ser colocados na linha quente ou na fase e não no linha neutra ou de terra. Quando o fusível é colocado na linha neutra, o circuito eletrificado poderia permanecer no potencial da linha quente, mesmo com o fusível queimado.

O fusível destrói uma parte do caminho de condução da corrente, se derretendo, quando a corrente que flui por ele excede um valor predeterminado. A queima do fusível interrompe a corrente no resto do circuito. A interrupção deve ser muito rápida, para que os componentes em série sejam protegidos.

Há aplicações que requerem a ação retardada do fusível. Alguns circuitos podem suportar grandes picos de corrente de curta duração mas devem ser protegidos contra picos de corrente de longa duração. Devem ser usados fusíveis de ação retardada ou de queima lenta (*slow blow*). Um fusível de ação retardada resiste a altas correntes de curta duração. Porém, se a sobrecarga ou curto-circuito persiste por longo período, este fusível também deve se abrir. Aplicações típicas de fusíveis com retardo se referem a proteção de motores elétricos. A corrente de partida do motor é momentaneamente

alta e a corrente de regime é muito menor. O fusível deve permitir a partida do motor e deve protege-lo contra alta corrente de regime permanente.

A queima de um fusível é uma indicação que houve (ou ainda há) um defeito dentro do circuito que o fusível está protegendo. Antes de substituir o fusível por um novo, é aconselhável analisar o circuito para verificar se há algum defeito permanente.

O fusível é descrito de acordo com a relação entre o valor da corrente circulando através dele e o tempo que ele leva para interromper a corrente. A terminologia comum para descrever os tipos de fusíveis inclui:

ação rápida, alta velocidade ou instrumento

padrão, normal ou atraso médio

atraso, retardado, ação lenta ou queima lenta

fusível térmico

Cada tipo, disponível em diferentes capacidades de corrente, protege o circuito eletrônico se o tempo de interrupção do fusível é suficientemente rápido.

O fusível térmico é destruído principalmente pela temperatura e não apenas pela corrente que circula por ele. Ele pode suportar grandes correntes, porém se queima quando a temperatura do componente que ele protege atinge temperatura critica. Ele se queima com a alta temperatura, mesmo que a corrente que circula por ele seja pequena. Ele é usado principalmente para estabelecer a classe de temperatura de equipamentos elétricos. Geralmente este fusível é *enrolado* (wrap in) no circuito e não soldado, pois a temperatura da solda o romperia.

Todos os fusíveis têm especificações de tensão, corrente e queima. Todas as especificações se aplicam aos tipos ação lenta, ação normal e ação rápida, independente do tamanho.

A especificação da tensão marcada no fusível é uma garantia do laboratório certificado para risco de fogo. Isto indica que o fusível ira seguramente abrir sem provocar arco voltaico ou explodir em uma situação de curto-circuito, quando a tensão é igual ou menor que a tensão especificada. Nunca use, em nenhuma circunstância, um fusível especificado com menor tensão do que a tensão aplicada realmente entre seus terminais, independente de sua corrente nominal. O fusível pode ser usado em qualquer tensão menor que a sua especificada, sem afetar suas características de projeto.

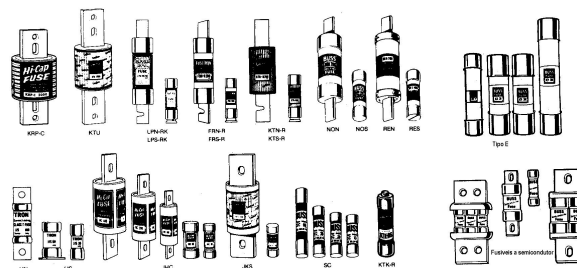



Fig. 2.25. Fusíveis para alta corrente

A corrente especificada no fusível indica o valor de teste padrão da corrente de carga. Os fusíveis de ação rápida são projetados para suportar 100% de sua corrente nominal, mas irá queimar muito rapidamente quando sua corrente exceder de uma pequena percentagem. Os fusíveis de ação normal geralmente são projetados para suportar 110% de sua corrente nominal por um período mínimo de quatro horas ou 135% de sua corrente especificada por períodos menores que uma hora ou 200% de sua corrente nominal por um máximo de 30 segundos. Os fusíveis de ação retardada são projetados para suportar 110% de sua corrente nominal por um período de quatro horas mas se a corrente atinge 135% do valor nominal, ele abrirá dentro de uma hora. Quando o fusível de ação retardada é percorrido por uma corrente 200% do valor nominal, ele irá interromper a corrente dentro de um período de 5 segundos a 2 minutos.

É fundamental ter o conhecimento e o entendimento da literatura técnica fornecida pelo fabricante do fusível, para relacionar o tipo do fusível (ação rápida, normal ou retardada), identificação alfa numérica empregada, a amperagem nominal, a tensão e o tamanho físico.

8.2. Disjuntor (Circuit Breaker)

O disjuntor é um equipamento de proteção que também abre um circuito quando há uma sobrecarga aplicada nele. Diferente do fusível que se destrói, o disjuntor apenas se desarma.

O disjuntor geralmente consiste de uma chave que é mantida fechada por uma trava. Para abrir o circuito, a saliência é liberada. Basicamente, há dois mecanismos para atuar e desatuar o disjuntor:

1. eletromagnético
2. térmico

Quando a corrente excede o valor critico na bobina eletromagnética, o campo magnético aciona uma barra metálica colocada dentro do seu campo e a trava do disjuntor é liberada. No mecanismo térmico, uma tira bimetálica é aquecida pela corrente que passa por ela e produz um pequeno movimento. Quando a corrente excede o valor critico, a tira bimetálica aciona a trava, abrindo o circuito. Em ambos os mecanismos eletromagnético e térmico, há uma mola e um dispositivo para rearme do disjuntor. Quando a causa do excesso de corrente é localizada e removida, o disjuntor pode ser rearmado (reset) para sua posição de condução por uma botoeira ou chave. Por causa desta chave, o disjuntor pode também ser usado para liga-desliga.

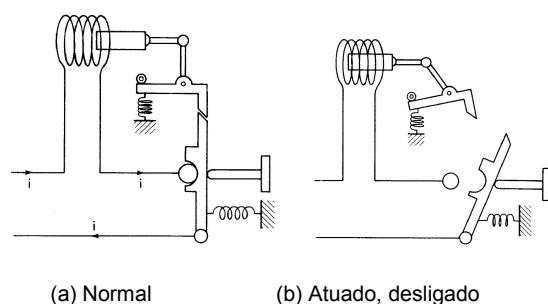
(a) Normal (b) Atuado, desligado

Fig. 2.26. Disjuntor

O circuito eletrônico com disjuntor com rearme manual ou automático possibilita uma economia de tempo e de componente, pois o dispositivo protetor não precisa ser substituído. O disjuntor é um dispositivo protetor do circuito elétrico que não se danifica irremediavelmente quando opera. O disjuntor pode possuir capacidades definidas da corrente de regime permanente, a corrente de desligamento e a corrente de manutenção. A corrente de desligamento descreve o valor da corrente que irá desligar o disjuntor, protegendo o circuito de correntes maiores que a nominal. A corrente de manutenção indica a mínima corrente permissível para o disjuntor particular. Qualquer valor de corrente menor que o valor de manutenção não permitirá o rearme do disjuntor.

São disponíveis disjuntores para 125 V (padrão), 6 V até 24 V. As correntes típicas são, em ampères:

5	6	8	10	12
15	18	20	25	30
40	45	50		

3

Símbolos Lógicos

1. Lógica

1.1. Conceito

Em sistemas de controle, a palavra *lógica* é geralmente usada tem termos de relé lógico ou lógica de controlador programável, o que não é muito lógico. O termo lógico está geralmente associado com o conceito de binário, que significa possuir um de apenas dois estados possíveis, tais como liga-desliga, aceso-apagado, alto-baixo, verdadeiro-falso, presente-ausente, maior-menor, igual-diferente ou 1-0. A palavra *lógica* se refere a um sistema que obedece a um conjunto fixo de regras e sempre apresenta o mesmo conjunto de saídas para o mesmo conjunto de entradas, embora estas respostas possam ser modificadas por alguma condição interna, como o estado de uma saída de um temporizador ou contador. A lógica sempre trabalha com as combinações de E (AND), OU (OR), NÃO (NOT) e nunca com TALVEZ.

1.2. Lógica de relé e programas

No início, a lógica de relé foi usada para o simples intertravamento de circuitos de controle elétrico:

1. Se a corrente de um motor exceder um determinado valor pré-estabelecido, ele deve ser desligado.
2. Se o aquecedor elétrico ultrapassar determinada temperatura, ele deve ser desligado.
3. Se uma correia de esteira estiver rodando com uma extremidade fora, ela deve ser parada.

Para um dado conjunto de entradas, uma decisão deve ser feira e uma ação tomada.

1.3. Lógica Seqüencial

Geralmente, tenta-se distinguir binário, acionado por evento e lógica instantânea de lógica seqüencial. Isto está mais relacionado com as dificuldades associadas em representar a lógica seqüencial do que com as diferenças reais. Não há nenhum problema prático em considerar equivalentes todos os conceitos acima.

A lógica seqüencial foi manipulada menos satisfatoriamente no passado do que a lógica combinatória. A lógica seqüência é geralmente representada de um modo que requer muito mais conhecimento técnico por parte do leitor não técnico que deve analisar o documento. Foi desenvolvida uma metodologia mais simples que mudou estes conceitos. O IEC publicou a norma 848 (*Preparação das Cartas Funcionais para Sistemas de Controle*, 1988).

Os diagramas lógicos binários são usados para tentar tornar o trabalho mais fácil, para fazê-lo menos dependente do conhecimento do equipamento específico e para fazê-lo mais funcional na orientação.

1.4. Lógica CLP

O controlador lógico programável (CLP) atualmente substitui, com vantagens, os sistemas complexos de relés.

O CLP é freqüentemente programado emulando diagramas ladder de relés, pois estes diagramas são facilmente entendidos por muitas pessoas não instrumentistas. O problema que permanece é que o diagrama ladder é orientado para equipamento e requer um conhecimento de circuito elétrico. A diagramação lógica binária é uma tentativa de reduzir a lógica complexa que existe entre as entradas e saídas de um sistema para a representação mais simples possível.

Uma grande vantagem do diagrama lógico binário sobre o diagrama ladder é a facilidade com que a lógica binária pode ser combinada com uma representação do processo sendo controlado, que dá um entendimento mais claro da ligação entre o controle do processo e sua lógica. Mesmo que o CLP seja programado através dos símbolos do diagrama ladder, é ainda mais fácil trabalhar e entender o esquema básico representado por lógica binária.

2. Conceituação e Execução

Há uma sutil mas importante diferença entre as duas fases que devem ser consideradas para se ter um esquema de controle trabalhável envolvendo lógica binária. A primeira fase é comum a todo o equipamento e a segunda depende muito mais do equipamento específico usado. A primeira fase responde a pergunta: O que precisa ser feita para determinado processo? A segunda fase responde a questão: Sabido o que deve ser feito, como fazê-lo?

Quebrando o projeto nestas duas fases, O que fazer? e Como fazer?, as coisas andam mais facilmente. O problema pode ser claramente definido sem a restrição da necessidade do conhecimento detalhado do equipamento disponível. O projeto pode ser discutido entre pessoas que podem conhecer o problema mas que podem ter diferentes graus de conhecimento do equipamento (e programa) disponível para sua solução. Quando o projeto é dividido em suas partes componentes deste modo mais ou menos abstrato, o problema e a sua solução podem ser conceitualizados, o equipamento pode ser escolhido e a solução pode ser executada mais eficientemente.

A primeira fase é a conceitualização. Como o objetivo é conceber esquemas de controle que envolvam um processo, lógica para controlar este processo e a interface de operação que permita ao operador intervir a qualquer momento no processo, é razoável incluir estes elementos em um desenho ou esquema conceitual.

A segunda fase, execução, envolve detalhes de execução ou instruções para um CLP. Este fase requer o conhecimento apenas das entradas imediatas e não das condições que as geram. Nesta fase, é razoável eliminar muitos detalhes irrelevantes associados com o processo ou com a interface do operador.

2.1. Tipos de documentos

Quando se vai do conceito para a execução, pode-se perceber que, no mínimo, dois tipos de documentos são necessários. O documento de execução é geralmente o único que é visto formalmente. O documento de conceito existe, como um esquema de engenharia ou como uma tentativa de combiná-lo com o diagrama de fluxo de engenharia. Para lógica complexa, o documento conceitual é completamente insatisfatório. Muita confusão seria evitada se o documento conceitual fosse um desenho formal.

Na realidade, mais do que estes dois tipos de documentos estão envolvidos, quando de vai do conceito para a execução. Usualmente, o processo de conceitualização começa com o diagrama de fluxo do processo. Nesta etapa, uma descrição geral, resumida, narrativa esquematiza o processo, o que é para ser feito e as necessidades da interface do operador. Quando o diagrama de fluxo do processo é desenvolvido, no mínimo, as entradas e saídas são definidas. Assim que as entradas e saídas do processo estão definidas, o documento lógico conceitual pode ser desenvolvido. Depois de aprovado o documento conceitual, pode-se começar a fazer os documentos de execução.

Pode-se ir diretamente do documento lógico conceitual para um diagrama ladder, como o documento final de execução para relé ou CLP. Porém, em sistemas grandes e complexos, é recomendável ter um documento intermediário que seja entendido por aqueles que não necessariamente entendem os detalhes do diagrama ladder. Este documento pode também ser usado para verificação (*ckeck*), pois ele mostra toda a lógica interna e simboliza todas as entradas e saídas sem os detalhes irrelevantes do processo ou da interface do operador.

O documento final de execução geralmente é o diagrama ladder, utilizado em sistema com relé ou com CLP. No caso de CLP, ele pode ser gerado por um programa associado (p. ex., PGM, Reliance)

2.2. Documentos lógicos conceituais

O documento lógico conceitual tenta responder a questão: Como se consegue ir até lá daqui? Um diagrama de fluxo de engenharia (P&I) não é uma ferramenta adequada para fins de lógica. Também, o diagrama ladder é muito especializado para fins de conceitualização. Assim, a maior utilidade do diagrama conceitual é como uma ferramenta que permite ao projetista lógico raciocinar através do processo presente sem muita consideração acerca das especificações finais do equipamento a ser usado para executar a lógica.

Há três divisões básicas no documento lógico conceitual:

1. desenho do processo sendo controlado sem entrar em detalhes que são irrelevantes para o controle deste processo
2. desenho da lógica
3. desenho da interface do operador, desde que nada é totalmente automatizado e tudo requer a intervenção eventual do operador.

3. Portas Lógicas

Portas lógicas são circuitos eletrônicos que operam com entradas e saídas booleanas, que podem assumir apenas os valores 1 ou 0. Eles podem ser microprocessados ou com contatos discretos de relés e chaves. As portas podem manipular apenas um sinal de entrada, exatamente dois ou podem ser extensivas, manipulando de dois até dezenas de entradas.

As portas lógicas básicas são:

1. OR (também OR EXCLUSIVO)
2. AND
3. NOR
4. NAND
5. INVERSOR ou NOT

3.1. Porta OR

A porta OR possui duas ou mais entradas e uma única saída. As entradas são designadas por A, B, ... N e a saída por L. As entradas podem assumir só 0 ou 1.

A expressão para o OR é: A + B = L

A saída de uma porta OR assume o estado booleano 1 se uma ou mais entradas assume o estado 1. A saída do OR é 1 se alguma das entradas for 1.

Símbolos

Os símbolos MIL, NEMA e ANSI são:

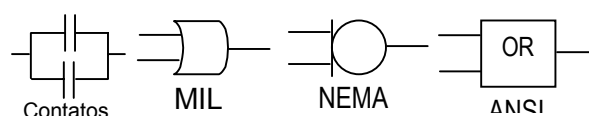



Fig. 3.1.Símbolos da porta OR

Tabela verdade

Tabela verdade 0R para duas entradas

A	B	L
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Circuitos equivalentes

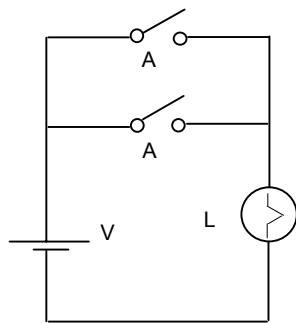
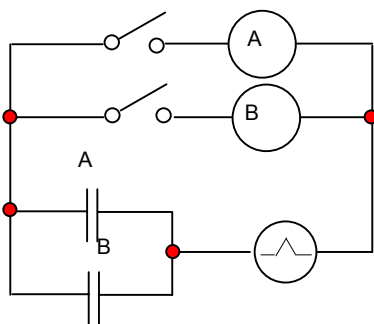
Exemplo do uso OR em controle de processo é ligar uma lâmpada através de qualquer uma de duas chaves ou ambas.

(a) Com chaves

(b) Com relés

Fig. 3.2. Circuitos para porta OR

3.2. Porta OR Exclusivo

O OR exclusivo é uma porta com duas entradas, cuja saída é 1 se e somente se os sinais de entrada forem diferentes. Quando as entradas forem iguais, a saída é zero.

A Equação do OR exclusivo é

$A \oplus B = L$ ou

$$A\overline{B} + \overline{A}B = L$$

Símbolos

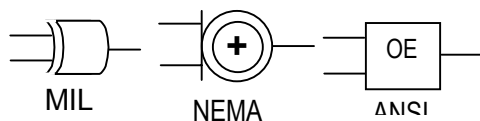



Fig. 3.**3**. Símbolos da porta OR exclusivo

Tabela Verdade OR EXCLUSIVO

A	B	L
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Circuito equivalente

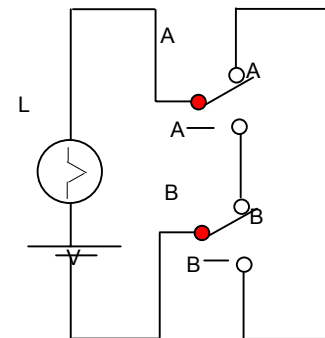
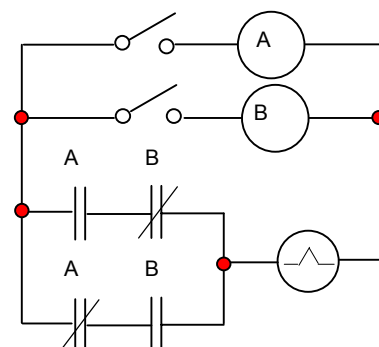
Um circuito equivalente com duas chaves para uma porta OR EXCLUSIVO é mostrado abaixo. Quando qualquer uma das duas chaves estiver ligada e a outra desligada, a lâmpada está ligada. Quando as duas chaves estiverem simultaneamente ligadas, a lâmpada fica apagada.

(a) Com chaves

(b) Com relés

Fig. 3.4. Circuitos para OR exclusivo

3.3. Porta AND

A porta AND tem duas ou mais entradas e uma única saída e opera de acordo com a seguinte definição: a saída de uma porta AND assume o status 1 se e somente se todas as entradas assumem 1.

A equação do AND é

A . B = L

A x B = L

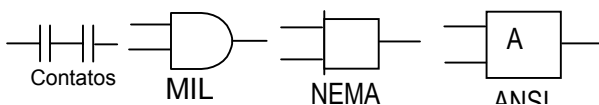
AB = L

Símbolos

Fig. 3.5. Símbolos da porta AND

Tabela Verdade

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Circuito equivalente

O circuito equivalente da porta AND com chaves é mostrado abaixo.

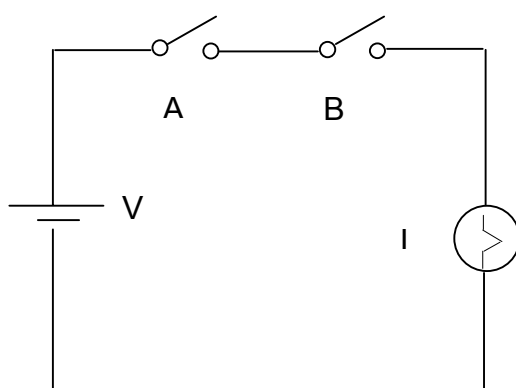



Fig. 3.6 (a). Circuito equivalente a AND com chaves

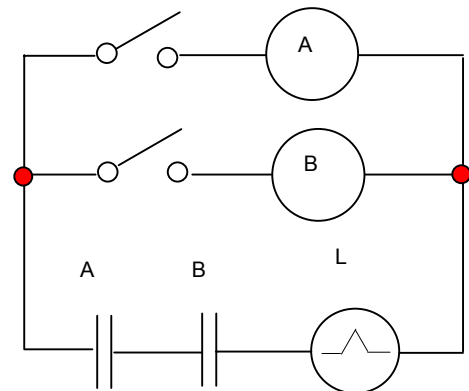



Fig. 3.6 (b). Circuito equivalente a AND com relés

3.4. Porta NOT

A porta NOT ou inversora produz uma saída oposta da entrada. Esta porta é usada para inverter ou complementar uma função lógica. O inversor, diferente das outras portas lógicas que possuem duas ou mais entradas e uma saída, só possui uma entrada e uma saída. A saída é o inverso ou oposto da entrada.

A equação do NOT ou inversor é

$$\overline{A} = L$$

Símbolos

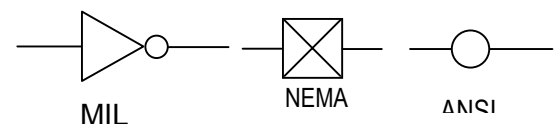



Fig. 3.**7**. Símbolos da porta NOT

Tabela Verdade do NOT

A	L
0	1
1	0

Circuito equivalente

O circuito equivalente para um INVERSOR com reles é mostrado abaixo.

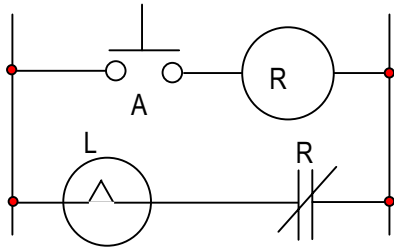



Fig. 3.8. Circuito NOT ou inversor

3.5. Porta NAND

NAND é a porta oposta à AND. Quando todas as entradas NAND são 1, a saída é zero. Em todas as outras configurações, a saída do NAND é zero

A equação do NAND é

$\overline{AB} \equiv L$

$\overline{A} + \overline{B} = L$

Símbolo:

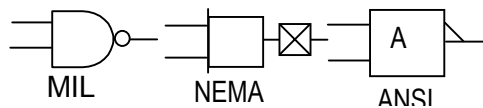



Fig. 3.9. Símbolos da porta NAND

Circuito equivalente

O circuito equivalente da porta NAND com chaves é mostrado abaixo.

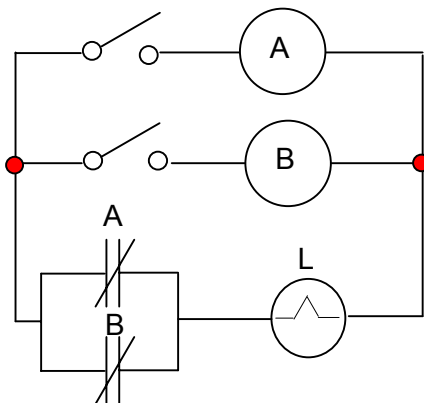



Fig. 3.10. Circuito equivalente a NAND

Tabela Verdade NAND

A	B	AND	NAND
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

3.6. Porta NOR

NOR é a porta oposta a OR. Quando todas as entradas são 0, a saída é 1.

A equação do NOR é

$\overline{A+B} = L$

$\overline{A} \times \overline{B} = L$

Símbolo:

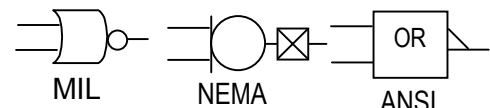



Fig. 3.11. Símbolos da porta NOR

Tabela Verdade

A	B	OR	NOR
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

Circuito equivalente

O circuito equivalente da porta NOR com relé é mostrado abaixo.

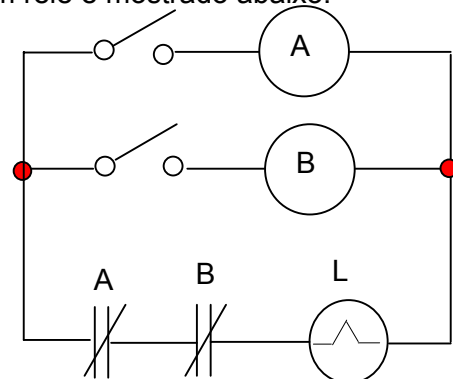



Fig. 3.12. Circuito equivalente a NOR

4. Exemplos lógicos

4.1. Circuito retentivo

Um dos circuitos lógicos mais comuns é o circuito retentivo (hold) para motores elétricos (Fig. 3.13). A figura mostra a divisão do diagrama em três áreas: painel (display), lógica e campo (outras áreas também poderiam ser adicionadas, como área do painel cego). O botão PARTIDA (HMS 500) envia um sinal para a porta OR, que passa qualquer sinal recebido. O sinal vai para uma porta AND, que produz uma saída somente quando todas as entradas estão presentes. Como a botoeira PARADA (HMS 501) não está sendo apertada, a porta NOT inverte o sinal zero para um sinal positivo, satisfazendo a porta AND e uma saída é produzida. A saída de AND vai para o motor e volta para a entrada da porta OR para manter a lógica, mesmo quando o botão PARTIDA deixa de ser pressionado. Quando o botão PARADA é apertado, a porta NOT inverte o sinal positivo, de modo que a porta AND não seja mais atendida e o circuito retentivo é desligado.

Note-se que são usadas muitas palavras para descrever um sistema simples que pode ser facilmente representado por poucos símbolos conhecidos. Note, também, que todos os símbolos lógicos estão representados na figura. Está mostrada a lógica do processo, não a proteção do equipamento. Assim, o relé de sobrecarga, relé termal e outros dispositivos de intertravamento não estão mostrados, embora pudessem ser também representados. Deve-se notar ainda que parece que o motor recebe sua potência da lógica. Isto obviamente não ocorre, mas a representação é simples e não diminui o entendimento do circuito.

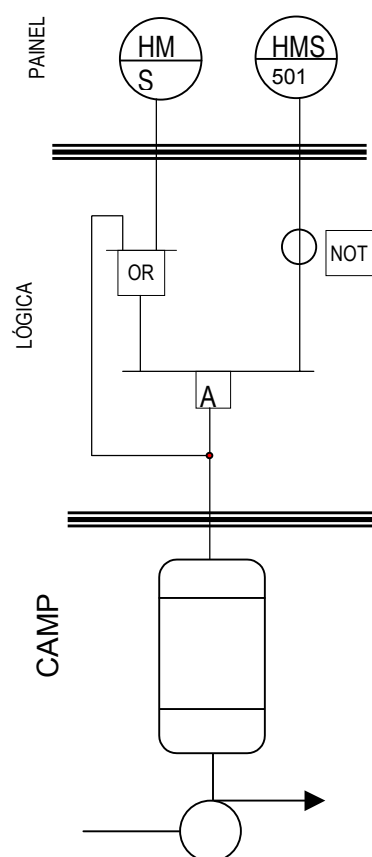



Fig. 3.13. Circuito retentivo

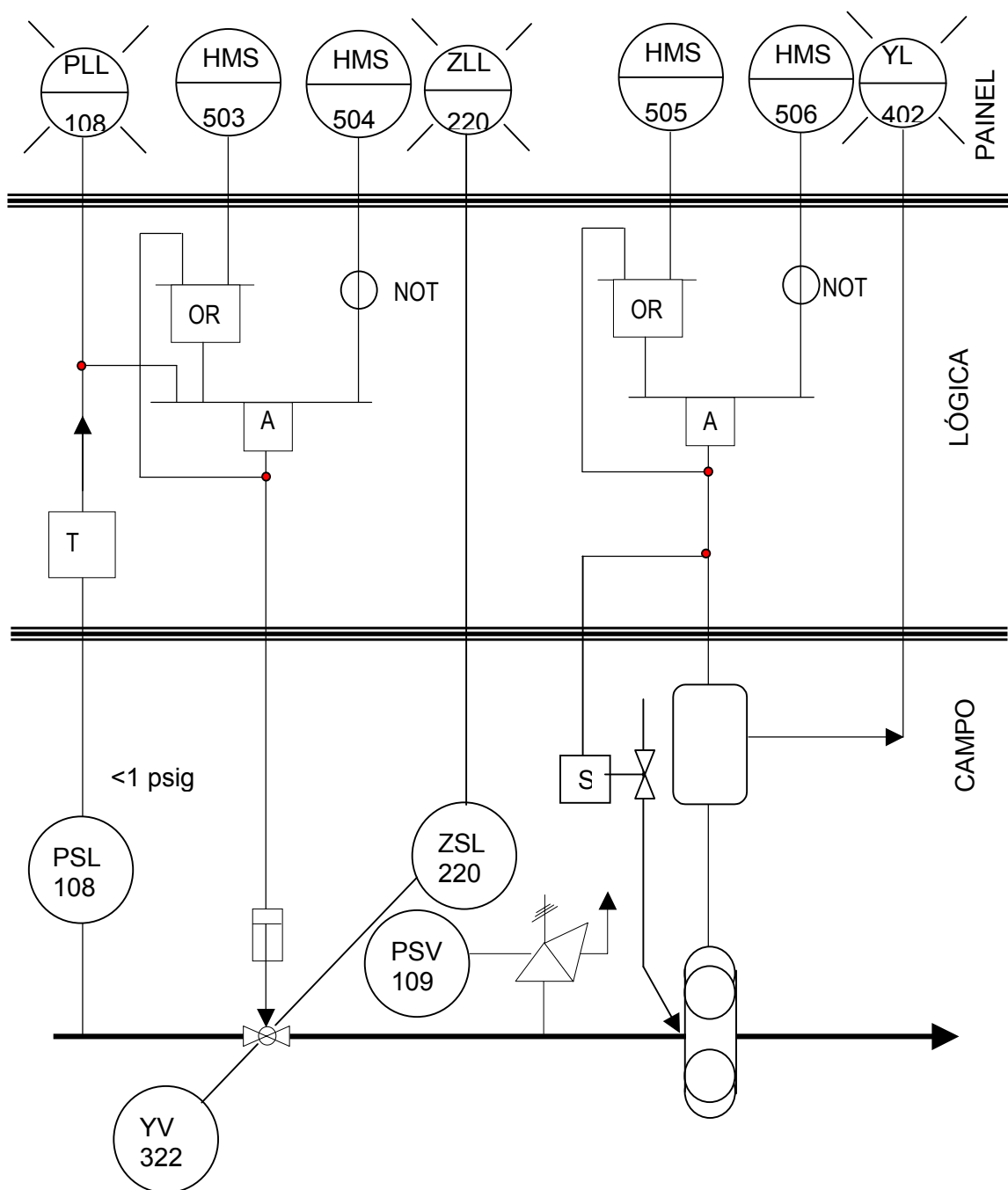



Fig. 3.14. Funções de campo

5.4. ANSI/ISA S5.2: Diagrama lógico binário para operações de processo

Esta norma tem o objetivo de fornecer um método de diagramação lógica de sistemas de intertravamento binário e sequenciamento para a partida, operação, alarme e desligamento de equipamento e processos na indústria química, petroquímica, refino de metal e outras indústrias. A norma pretende facilitar o entendimento das operações binárias e melhorar as comunicações entre técnicos, gerentes, projetistas, operadores e pessoal de manutenção, ligados ao sistema.

Entre a documentação conceitual e a de execução, o pessoal de gerenciamento e operação acha maior utilidade na conceitual do que na de execução, pois a ligação com o processo é mais explícita.

As diferenças básicas entre os diagramas de conceituação e de execução são:

1. O diagrama conceitual tem uma orientação vertical, pois o processo é usualmente visto operando horizontalmente e as linhas de sinal são mais bem mostradas perpendiculares ao processo. O diagrama de execução geralmente tem orientação horizontal, quase como um diagrama ladder (escada) e possivelmente porque a lógica é seguida seqüencialmente sem muita ligação com o processo.
2. O desenho conceitual é mais bem desenhado em tamanho grande, enquanto o desenho lógico de execução é feito em folhas de tamanho A4 ou carga. O formato grande ajuda a visualização de todo o panorama, o formato pequeno é melhor de ser manuseado e na lógica não há interesse em se ver o processo global.
3. As portas lógicas são mais fáceis de desenhar. Como a lógica é desenhada usualmente na forma de esquemas à mão livre, é importante que haja um mínimo de linhas, símbolos e letras usadas.

5.5. Diagrama lógico

Antes de se desenvolver um diagrama lógico, deve se ter um diagrama de fluxo. A Fig. 3.25. é um diagrama de fluxo de processo. Deve se ter também uma breve descrição narrativa, ponto por ponto, do objetivo do projetista. Então segue se o diagrama lógico. A Fig. 3.26 é um diagrama lógico associado com o diagrama de fluxo da Fig. 3.14.

Os diagramas mostram muitos dos símbolos binários lógicos para operação do processo. Os símbolos de função de entrada e saída são os balões e bandeirolas dos instrumentos da norma ANSI/ISA S 5.1. As declarações de entradas e saída são interpostas entre os balões ou bandeirolas e as setas de continuação e a lógica levam de um desenho lógico para outro. A lógica flui da esquerda para a direita. As setas usadas somente onde necessárias, para melhor entendimento do fluxo de sinal.

Aqui estão os principais pontos referentes à apresentação lógica como mostrado na Fig. 3.26.

1. Os desenhos são mais fáceis de seguir se todas as entradas são mostradas na esquerda e todas as saídas na direita. As funções lógicas são mostradas no meio.
2. Embora as chaves de posição ZSH e ZSL sejam atuadas pelas válvulas HV1 e HV2, as chaves estão na entrada para a lógica e as válvulas estão na saída. Elas podem ser ligadas fisicamente, mas na lógica as chaves são desenhadas na esquerda como entradas e as válvulas são desenhadas na direita, como saídas.

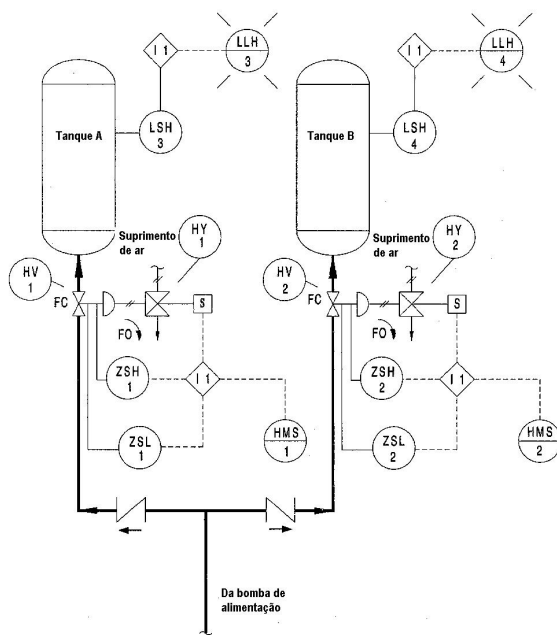



Fig. 3.22 Exemplo de diagrama de fluxo

3. As chaves NOT devem ser um pouco menores em relação aos balões de instrumentos ou de equipamentos. Não há necessidade de parar a linha lógica em qualquer lado das portas. Na prática, a linha é desenhada e o círculo é desenhado em cima.
4. As botoeiras PARTIDA e PARADA possuem o mesmo tag número, porém elas têm funções totalmente diferentes e devem ser diferenciadas. Se é desejável manter o mesmo número básico porque elas podem estar na mesma caixa, pode se usar um número ou letra como sufixo. Mesmo isto não é absolutamente necessário, porém, desde que a chave pode ser tagueada com números diferentes separados por /.
5. Às vezes, é tentador manter o conceito de malhas (HS1, HV1, ZSH1). Isto é geralmente inútil, pois, na prática, é raramente possível ser mantido. Além disso é errado pois ANSI/ISA S5.1 requer um novo número de malha para cada nova variável medida ou inicializada. Somente se a malha da variável H e a malha da variável Z forem as duas primeiras malha para usar estas letras e se ter correspondência.
6. A maioria dos sistemas de complexidade moderada não tem uma relação biunívoca entre funções de entrada e saída. Quando eles têm, eles seriam sistemas manuais. É melhor encarar a complexidade na saída e dar ao sistema lógico a designação YIC (ou YC). O sistema é, antes de tudo, um controlador de evento. Os elementos de saída similares devem ter sufixos numéricos ou alfabéticos.
7. Embora a lógica seja muito abstrata, as ligações dela devem ser concretas. A Fig. 3.14 mostra somente uma única saída física para uma válvula solenóide de três vias. A ligação para a lógica deve refletir isto. Não há função de saída para *válvula fechada*. Para fechar a válvula, o sinal *abrir válvula* é removido. São necessárias duas saídas somente quando houver duos solenóides.

Como o diagrama lógico é documento de execução, é preferível usar a identificação dos equipamentos ligados (i.e., válvulas solenóides, não as válvulas de linha) e observar os modos de falha dos equipamentos ligados.

Recomenda-se observar os modos de falha segura. Não é aconselhável se ter válvula de enchimento com falha aberta, porque é improvável. Também não se deve usar nível lógico alto para desenergizar solenóides pois isto é confuso.

5.6. Aplicações das portas

A Fig. 3.16 dá símbolos e funções de funções lógicas básicas. Aqui estão mais algumas recomendações úteis para um bom projeto.

Geral

Não usar palavras quando símbolos e identificadores estiverem disponíveis. Quando usar palavras, fazê-lo do modo mais conciso possível. Mesmo quando o número de tag não for disponível, a parte do identificador deve ser usada para evitar uma descrição narrativa.

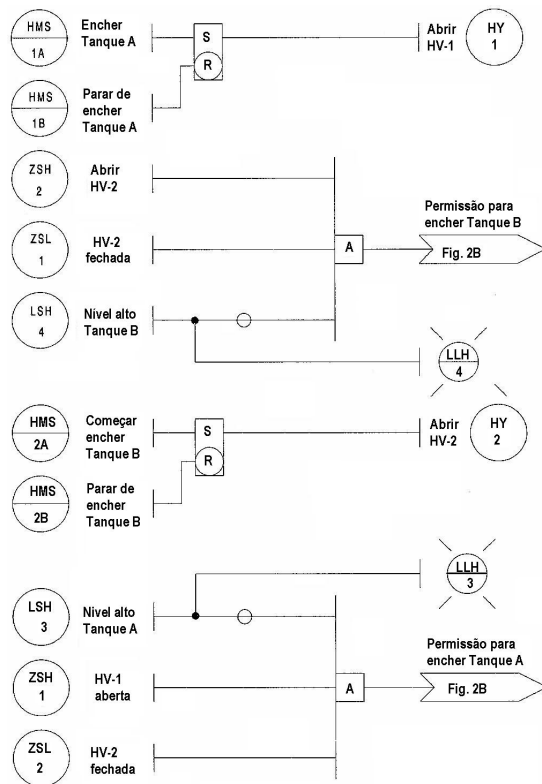



Fig. 3.23. Diagrama lógico típico

Função entrada

Se as linhas lógicas forem diretamente a uma saída chamada de Partida da Esteira, então as palavras devem ser omitidas, especialmente se HS é substituída por HMS (chave manual momentânea ou botoeira). Se não, então as palavras Partida da Esteira (uma sobre a outra) economizam espaço horizontal e, junto com HMS, contem toda a informação necessária sem redundância.

Função saída

Quando houver uma escolha entre palavras e símbolos, escolher símbolos ou uma combinação de símbolos com um breve estado da saída. Há um impacto muito maior no reconhecimento de paradigmas quando se escolhe esta alternativa

A primeira letra (H) deve ser usada somente se há uma ligação direta com uma chave manual. Se não, é recomendável tratar a lógica como um sistema e usar Y para evento ou K para tempo, dependendo se a lógica é orientada para evento ou para tempo. Nestes casos, todas as saídas devem ter o mesmo número de malha e sufixos diferentes.

Função AND

As palavras nas entradas e saída simplesmente ajudam a ligar o símbolo à definição. Lógica é a arte de fazer identificações não contraditórias, não importa se com tanques, válvulas ou bombas.

As duas entradas projetam mais informação de modo mais específico se forem usados balões com os identificadores funcionais LSH e ZSH. Quando for necessário identificar equipamentos (tanques, válvulas ou bombas), deve se usar os identificadores T-1, HV-2 e P-3, se existirem. Se não, deve-se usar palavras especificas, tais como tanque de mistura, bomba de sucção de óleo, válvula da descarga do compressor.

A saída é também não específica. Quando se sabe que um relé específico é atuado para partir a bomba, então um balão com o tag número do relé deve ser usado, p. ex., YY6.

Função OR

Muitas pessoas se sentem desconfortáveis se uma saída positiva tem de ocorrer para desligar uma máquina. Na ausência de um comando positivo, o conceito de falha segura requer que a máquina pare. A saída é invertida usando uma porta NOT e as palavras *Permissão Operação Compressor* em vez de *Parar Compressor*.

Função OR Qualificado

O OR qualificado não é muito necessário, mas é requerido quando se necessita de lógica complicada. A mesmas sugestões feitas acima com relação à identificação de equipamentos de entrada e saída são aplicadas. Também deve ser sentido o mesmo modo de falha segura. Se uma reação exotérmica ocorre, perdendo-se o controle (sistema run away), é melhor mostrar uma lógica positiva para manter a reação ocorrendo. A falha da lógica deve parar a reação.

Função Memória

A combinação do simbolismo e identificação da norma ANSI ISA S5.1 com os identificadores específicos do equipamento permitem um resultado conciso. A aplicação de uma situação real de processo exemplifica o princípio que não se deve se tornar muito abstrato para se perder o senso da realidade. Considerações acerca de modos de falha do vent do tanque e da permissão de partida da bomba requerem que o vent falhe e a permissão também falhe.

Originalmente, a norma fala das opções relacionadas com perda, manutenção e independência da perda da alimentação principal. Atualmente estes conceitos são facilmente implementados com as novas tecnologias eletrônicas que permitem memória permanente na ausência da alimentação.

Quando se analisa a segura de um sistema e os modos de falha, deve se tomar todo o panorama e não se restringir apenas à lógica. A potência pode falhar em qualquer ponto – entrada, saída, motor, pneumática, elétrica – e cada uma delas deve ser considerada.

Elementos temporizados

A norma ANSI ISA S5.2 apresenta os elementos de tempo, que são basicamente três:

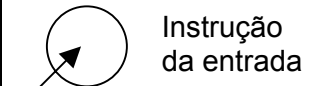
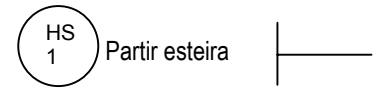
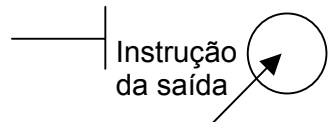
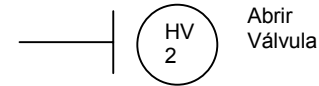
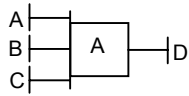
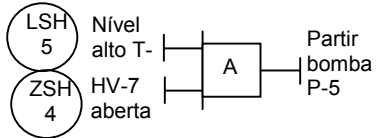
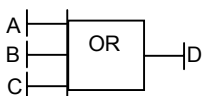
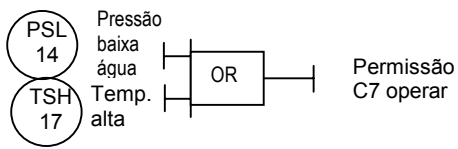
1. Inicialização atrasada da saída (DI)
2. Terminação atrasada da saída (DT)
3. Saída pulsada (PO)

Função	Símbolo	Exemplo
(1) Entrada	Instrução da entrada Número do instrumento ou do equipamento de inicialização, se conhecido	A posição partida de uma chave manual HS-1 é atuada para fornecer uma entrada para ligar uma esteira. HS 1 Partir esteira
(2) Saída	Instrução da saída Número do Instrumento ou do equipamento operado, se conhecido	Uma saída de seqüência lógica comanda a válvula HV-2 para abrir HV 2 Abrir Válvula
(3) AND	A saída lógica D existe se e somente todas as entradas lógicas A, B e C existirem A B C A D	Operar bomba se 1. nível do tanque estiver alto e 2. válvula de descarga aberta LSH 5 Nível alto T- ZSH 4 HV-7 aberta A Partir bomba P-5
(4) OR	Saída lógica D existe se e somente se uma ou mais das entradas lógicas A, B e C existir A B C OR D	Não permitir operação do compressor se 1. pressão água resfriamento for baixa 2. temperatura do mancal for alta PSL 14 Pressão baixa água TSH 17 Temp. alta OR Permissão C7 operar

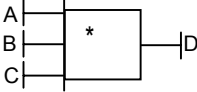
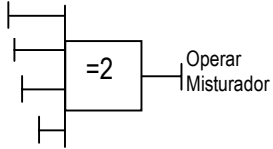
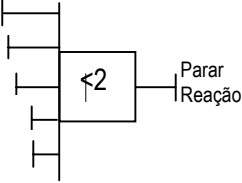
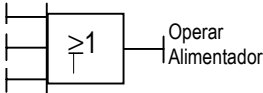
Fig. 3.24. Símbolos lógicos ISA

Função	Símbolo	Exemplo
(5) OR Qualificado	A, B, C → [*] → D * Detalhes internos representam quantidades numéricas (ver abaixo) Saída lógica D existe se e somente se um número especificado de entradas lógicas A, B e C existirem. Os seguintes símbolos matemáticos podem ser usados, quando apropriado: a. = igual a b. ≠ não igual a c. < menor que d. > maior que e < não menor que f ≯ não maior que g ≤ menor ou igual a (como f) h ≥ maior ou igual a (como e)	**Exemplo 1** Operar misturador se duas e somente duas caixas estiverem em serviço Caixa 1 em serviço Caixa 2 em serviço Caixa 3 em serviço Caixa 4 em serviço =2 Operar Misturador **Exemplo 2** Parar reator se pelo menos dois dispositivos de segurança solicitarem a parada Dispositivo 1 atuado Dispositivo 2 atuado Dispositivo 3 atuado Dispositivo 4 atuado Dispositivo 5 atuado ≮2 Parar Reação **Exemplo 3** Fazer alimentação se, no mínimo um e não mais que 2 moedores estiver em serviço. Moinho 1 em serviço Moinho 2 em serviço Moinho 3 em serviço ≥1 Operar Alimentador

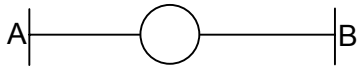
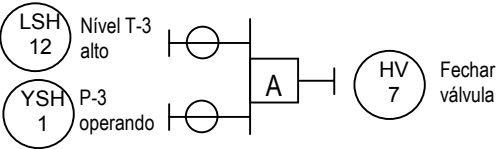
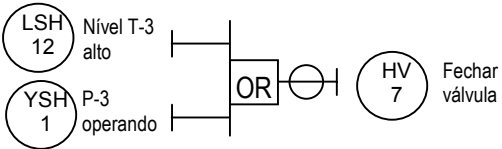
Fig. 3.25. Símbolos lógicos ISA (continuação)

Função	Símbolo	Exemplo
(6) NOT	Saída lógica B existe se e somente se a entrada A não existir.	Fechar válvula HV-7 quando nível do tanque T-3 não estiver alto e a bomba P-4 não estiver operando **Alternativa de lógica**

Fig. 3.26. Símbolos lógicos ISA (continuação)

Nota Tabela verdade para mostrar equivalência

Entradas		Saída	
LSH 7	YSH 7	HV 7	
		Caso 1	Caso 2
1	1	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
1	0	1	1

Uma lógica 1 implica a existência de uma entrada ou saída e uma lógica 0 é a ausência de um sinal.

Função NOT

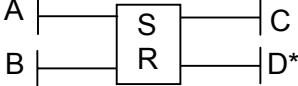
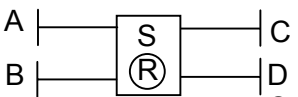
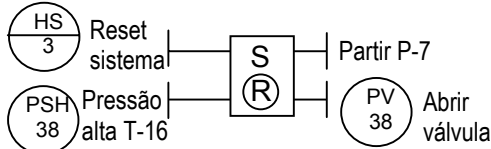
A função NOT mostra a equivalência entre uma porta AND com portas NOT em suas entradas e uma porta OR com um único NOT em sua saída.

Função	Símbolo	Exemplo
(7) Memória (Flip flop)	A — S — C B — R — D* *A saída D não precisa ser mostrada, quando não usada **Opção de superposição de entrada** Se as entradas A e B existirem simultaneamente e se é desejado ter A anulando B, então S deve ser envolvida em um circulo S .Se B é para anular A, então R deve ser envolvido por um circulo. A — S — C B — Ⓡ — D Note que a entrada B anula entrada A	S representa set da memória R representa reset da memória A saída lógica C existe tão logo exista a entrada A. C contínua a existir, independente do estado subsequente de A, até ser resetada pela entrada lógica B. C permanece terminado, independente do estado subsequente de B, até que a lógica seja resetada por A. A saída lógica D, se usada, existe quando C não existe e D não existe quando C existe. **Exemplo** Se pressão do tanque T-16 fica alta, abrir o tanque PV-38 para a atmosfera (vent) e continuar ventando independente da pressão, até que a válvula seja fechada por HS-3, desde que a pressão não seja alta. Quando o vent for desligado, a bomba P-7 deve ser ligada.

Fig. 3.30. Símbolos lógicos ISA de memória

Tabela verdade mostrando a necessidade de override:

Entradas		Saídas	
A	B	C	D
1	1	*	*
1	0	1	0
0	1	0	1
0	0	**	**
1	1	0	1
1	0	1	0
0	1	0	1
0	0	**	**

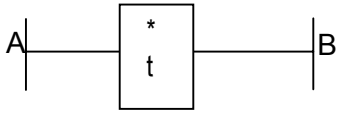
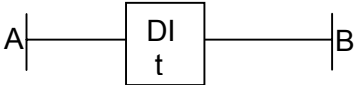
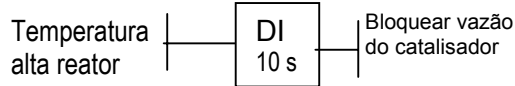
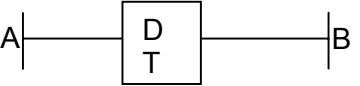
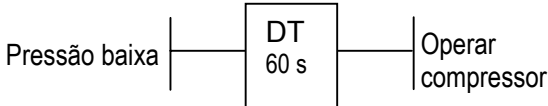
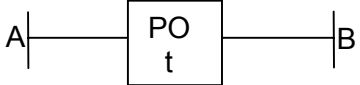
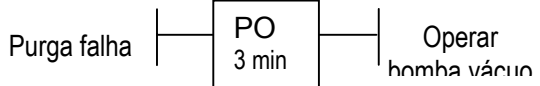
* Indefinido
** Determinado pelo último sinal de entrada

Símbolo	Definição	Exemplo
A — [* t] — B	A saída lógica B existe com uma relação de tempo para a entrada lógica A. Esta relação de tempo pode assumir várias lógicas.	
A — [DI t] — B **Inicialização atrasada da saída (Delay Iniciation)**	A existência contínua da entrada lógica A durante o tempo t faz a saída B existir quando t expira. B termina quando A termina	Se a temperatura do reator exceder um determinado valor, continuamente durante 10 segundos, bloquear a vazão do catalisador. Recomeçar a vazão, quando a temperatura não exceder este valor. Temperatura alta reator — [DI 10 s] — Bloquear vazão do catalisador
A — [D T] — B **Terminação atrasada da saída (*Delay Termination*)**	A existência contínua da entrada lógica A faz a saída B existir imediatamente. B termina quando A terminar e não tem ainda existido durante um tempo t.	Se a pressão do sistema cai abaixo de um limite de baixa, operar o compressor ainda. Parar o compressor quando a pressão ficar abaixo do limite continuamente por 1 minuto. Pressão baixa — [DT 60 s] — Operar compressor
A — [PO t] — B **Saída de pulso**	A existência da entrada lógica A, independe de seu estado subseqüente, faz a saída B existir imediatamente. B existe durante um tempo t e depois termina.	Se a purga do vaso falha por um período de tempo, operar a bomba de vácuo por 3 minutos e depois parar a bomba. Purga falha — [PO 3 min] — Operar bomba vácuo

Fig. 3.27. Símbolos lógicos ISA temporizados

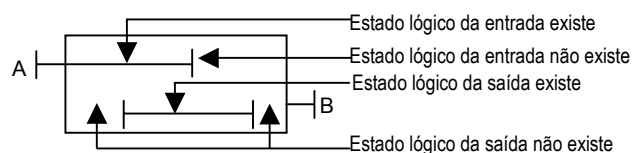
Outros símbolos

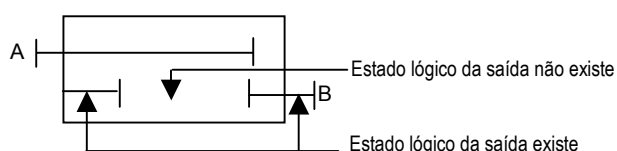
Será mostrado, a seguir, um método geral para diagramar todas as funções de tempo.

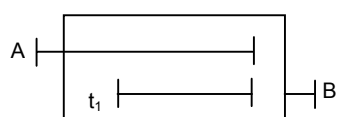
e1

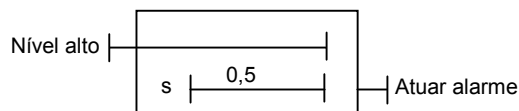
O tempo em que a entrada lógica A é iniciada é representado pelo canto esquerdo da caixa. A passagem do tempo é da esquerda para a direita e geralmente não é mostrada em escala.

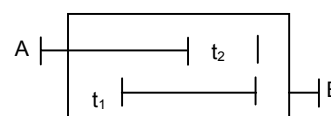
A saída lógica B sempre começa e termina no mesmo estado dentro do bloco temporizado.

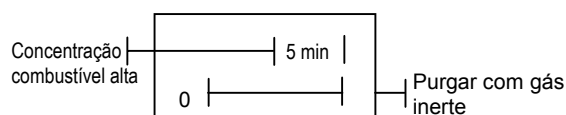
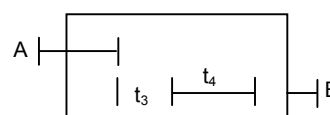
Mais de uma saída pode ser mostrada, se necessário.

e2

A temporização da lógica pode ser aplicada à existência do estado ou à não existência do estado, como aplicável.

f1

A existência contínua da entrada lógica A pelo tempo t_1 faz a saída lógica B existir quando t_1 expira. B termina quando A termina. (É um temporizador para ligar).

Exemplo

Evitar alarme falso em nível alto, atuando somente se o nível permanece alto continuamente por 0,5 s. O sinal de alarme termina quando não há nível alto.

f2

A existência contínua da entrada lógica A pelo tempo t_1 faz a saída lógica B existir quando t_1 expira. B termina quando A tem sido terminado continuamente durante o tempo t_2 .

Exemplo

Purgar imediatamente com gás inerte, quando a concentração do combustível ficar alta. Parar a purga quando a concentração não for alta continuamente por 5 minutos.

f3

A terminação da entrada lógica A e sua não existência continua durante o tempo t_3 causa a saída lógica B existir, quando t_3 expirar. B termina quando:

1. B tem existido por um tempo t_4 ou
2. A ainda existe, o que ocorrer primeiro

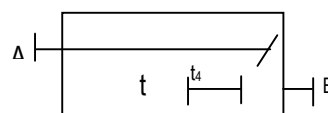
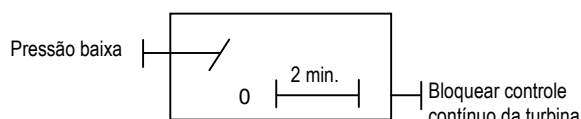
Exemplo

O vapor é ligado durante 15 minutos, começando 6 minutos depois da parada do agitador, exceto que o vapor deve ser desligado se o agitador recomeça.

f4

A existência da entrada lógica A, independente de seu estado subseqüente, causa a saída lógica B existir quando o tempo t_1 expira. B existe durante o tempo t_4 e depois termina.

Exemplo

Se a pressão cai para valores baixos momentaneamente, bloquear o controle contínuo da turbina imediatamente, manter por 2 minutos, então liberar a turbina para o controle contínuo.

f5

A existência contínua da entrada lógica A durante o tempo t_1, causa a saída lógica B existir quando o tempo t_1 expira. B existe durante o tempo t_4 , independe do estado subseqüente de A e depois termina.

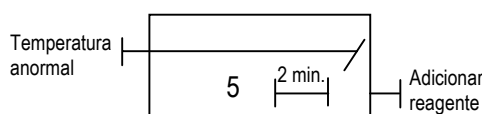
Exemplo

Se o pH ficar continuamente por 1 minuto, adicionar soda cáustica durante 3 minutos.

f6

A existência contínua da entrada lógica A durante o tempo t_1, causa a saída lógica B existir quando o tempo t_1 expira.
B termina quando o ocorrer o primeiro dos seguintes fatos:
tem expirado o tempo t_4 ,
A termina

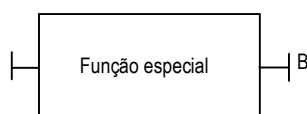
Exemplo

Se a temperatura for normal continuamente por 5 minutos, adicionar reagente por 2 minutos, exceto que o reagente não pode ser adicionado se a temperatura for anormal.

Nota

Para os símbolos f_4, f_5, e f_6 , a ação da saída lógica B depende de quanto tempo a entrada lógica A fica continuamente em 1, até a quebra de A. Além da quebra de A, o estado de A não importa para terminar a sequência B.

Se for desejado ter um segmento de tempo B, e.g., t_1, terminar somente se A existir continuamente, então A deve ser desenhado além deste segmento. Se A é desenhado depois do início mas não além do fim do segmento de tempo, então o segmento será iniciado e vai terminar, independente se A existe somente momentaneamente ou mais tempo.

Função especial

A saída lógica B existe como uma relação da entrada lógica A, como especificado no comando das exigências especiais. O comando pode cobrir uma função lógica diferente das funções especificadas nesta norma ou algum outro sistema lógico definido por aí.

6. Conclusão

O engenheiro de sistema de controle necessita tratar da lógica binária. Binário significa possuir apenas um de dois estados possíveis: **ligado** ou **desligado, 1** ou **0**. Um sistema lógico sempre apresenta o mesmo conjunto de saídas para o mesmo conjunto de entradas, embora as respostas de saída possam ser modificadas por algum programa interno.

Geralmente a lógica binária é realizada através de relés eletromecânicos ou eletrônicos e atualmente através de Controlador Lógico Programável, sistema que substitui os relés com vantagens. O mesmo diagrama ladder pode ser usado para programar os dois tipos de lógica.

O diagrama lógico binário simplifica e generaliza o simbolismo lógico, além de reduzir o tamanho da dependência do equipamento.

As duas principais fases de realizar um sistema de controle operável são:

conceituação

execução.

A fase de conceituação é independente do equipamento e a fase de execução pode depender do equipamento escolhido para realizar o esquema de controle.

Também, os dois principais tipos de documentação são associados com as duas fases. O documento conceitual tenta representar um esquema de controle abstrato. Seu objetivo é o de ajudar o projetista e a todos que precisam ver o quadro panorâmico, a conceber o esquema necessário para controlar o processo. O documento de execução tem o objetivo de instruir os especialistas como desenvolver especificamente um esquema lógico que já foi definido abstratamente.

O documento conceitual mostra as partes essenciais do processo e a interface do operador. O documento de execução mostra simplesmente as entradas e as saídas. O diagrama ladder é um dos documentos de execução.

Uma boa prática inclui aspectos lógicos e estéticos.

Na diagramação lógica fica mais evidente o provérbio chinês que estabelece que uma figura vale mais que mil palavras.

4

Linguagens de Programação

1. Introdução

As linguagens de programação estão tendo cada vez mais funções poderosas. Microprocessadores mais rápidos e poderosos e ambiente gráfico baseado em MS Windows têm sido combinados para permitir aos programadores obter tarefas complexas.

A programação de Controladores Lógico Programáveis (CLP) era originalmente apenas booleana. Um comando era mais ou menos assim: **Se** o contato da chave limite A estiver fechado **E** o contato da chave limite C estiver aberto, **Então** energizar a bobina C. Havia e ainda há linguagens baseadas em texto para acompanhar este programa. O diagrama lógico tipo ladder era considerado ideal para representar a lógica booleana. Este diagrama parece como diagramas lógicos de relés, familiares a eletricistas, enquanto representando a lógica digital, com contatos em série (AND) ou paralelos (OR).
Isto é conveniente para algumas funções de maquinas, mas é insuficiente quando se quer funções especiais, como matemática, tratamento de entradas e saídas analógicas e comunicação. Para estas exigências, os blocos funcionais são mais adequados. Os editores de programas de diagrama ladder começaram a incorporar uma biblioteca de blocos de função especiais para temporizadores, contadores, matemática, mensagem e outros mais complexos como controle Proporcional, Integral e Derivativo (PID) ou totalizadores de vazão (FQ).

A normal internacional IEC 61131 foi adotada para colocar ordem no caos resultante da proliferação de normas de programação de CLP. Esta norma tem duas partes:

1. Elementos comuns
2. Linguagens de programação

A primeira parte da norma, Elementos Comuns, define tipos de dados, variáveis, configuração, fontes, tarefas e unidades de organização do programa. Definindo tipos de dados evita erros como dividir um Dado por um Inteiro. Variáveis são somente atribuídas para explicitar endereços de equipamentos em configurações, fontes ou programas para conseguir independência entre equipamento e o programa. Um programa é configurado para um sistema específico de controle e é considerado como uma rede de funções e blocos de função.

Programas, funções e blocos de função são chamados de Unidades de Organização do Programa. A norma IEC 1131-3 definiu funções padrão como: aritméticas (adição, subtração, multiplicação, divisão), seletoras, trigonométricas, condicionadoras de sinais, comparadoras e de tempo.

As linguagens definidas têm sintaxe e semântica definidas, deixando espaço para dialetos personalizados. Funções definidas pelo usuário são permitidas na norma. Uma vez definida, a função pode ser reusada. Blocos de função são equivalentes e circuitos integrados e representam uma função de controle especializada. Blocos de função podem conter dados e algoritmos. Eles têm uma interface bem definida. O programa pode ser escrito em qualquer linguagem definida.

Conforme a norma IEC 1131-3, há duas versões textuais e duas versões gráficas de programação. As textuais são:

1. Lista de Instruções, parecida com código assembler
2. Texto Estruturado, parecida com Pascal.

As linguagens gráficas são:

1. Diagrama Ladder, típico para controle de maquinas e motores
2. Diagrama de Bloco de Funções, comum a indústrias de processos contínuos.

2. Ferramentas auxiliares

Há duas ferramentas gráficas usadas para facilitar a execução de programas, tais como:

1. Fluxograma (*flowchart*)
2. Diagrama de função seqüencial (*Sequential Funcion Chart* - SFC)

Há ainda linguagens especializadas para controle de movimento (robótica, controle numérico) e até a linguagem C é usada como linguagem de controle. Foram desenvolvidas outras linguagens para CLP, cada uma para determinada plataforma ou fabricante. Foram empregados diferentes enfoques para manipular as funções especiais, resultando em uma grande confusão quando se mudava de um fabricante para outro.

2.1 Fluxograma (Flowchart)

O fluxograma (flowchart) é um sistema gráfico usado como uma ferramenta de análise de programas e outros diagramas. O fluxograma contém blocos retangulares de ação, losangos para tomada de decisão, a partir de comparação ou verificação de atributos. O fluxograma de programação tem dois elementos básicos: Ação e Ramificação

Um bloco de ação (retângulo) representa uma operação em um dado do sistema. Um bloco de ação tem um ponto de entrada (superior) e uma saída (inferior). O bloco de encaminhamento, (losango) representa um caminho no circuito de controle baseado no resultado de uma decisão. A decisão poder ser

1. a comparação de duas variáveis
2. a comparação de uma variável com uma constante

O bloco de encaminhamento possui uma entrada (superior) e duas saídas, uma lateral e outra inferior.

Os blocos de ação podem ter várias funções lógicas e de controle embutidas. Uma das vantagens da programação através do fluxograma é a disponibilidade de uma biblioteca com controles complexos (controle de movimento, algoritmo PID, comunicação rápida de dados através de Windows NT).

Outras operações disponíveis incluem controle I/O sobre redes da planta, funções booleanas, matemática de alto nível, manipulação de matrizes, funções string, movimento e cópia de dados. Os blocos de ação podem Chamar (Call) uma sub-rotina, executar uma malha (Do), ter funções temporizadas (Wait) e fazer comunicação.

Os blocos de encaminhamento são de comparação e decisão. Uma decisão depende de um Sim (Yes) ou Não (Not) a uma condição: Chave A está fechada? A comparação olha em dois valores para verificar se são maiores que, menores que ou iguais e retorna ao Sim ou Não. A lógica If-Then-Else (Se-Então-Algo mais) pode ser feita facilmente com um bloco de decisão (If) com cada entrada indo para um bloco de ação. Assim, se a chave A estiver fechada, então ligar a bobina C, e além disso, ligar a lâmpada piloto 1. Depois, ligar os dois blocos de ação à próxima ação.

Se o programador de fluxograma conhece melhor o diagrama ladder, é útil fazer a seguinte analogia: bloco de decisão age como contato e bloco de ação age como bobina. Se o contato está fechado (bloco de decisão), então ligar a bobina (bloco de ação).

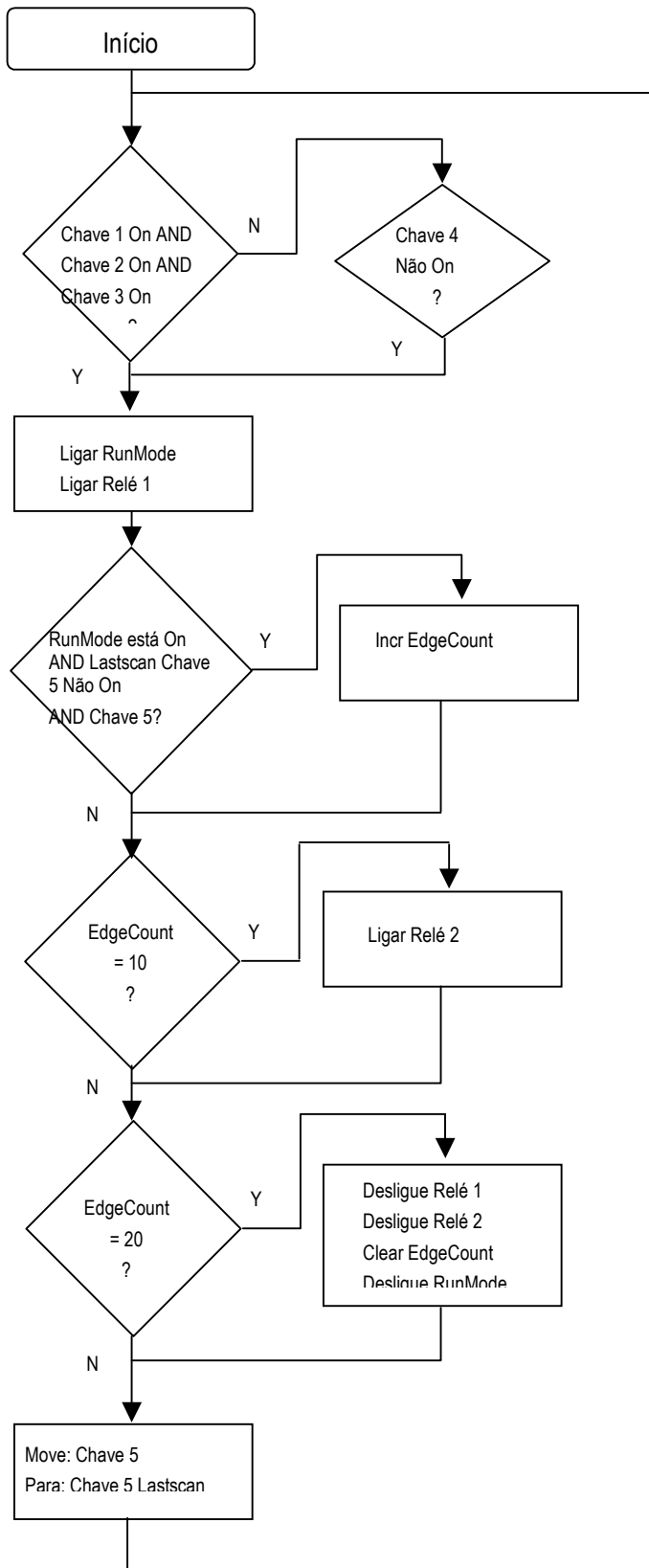



Fig. 4.1. Fluxograma típico

2.2. Diagrama de Função Seqüencial (SFC – Sequential Function Chart)

Conceito

O Diagrama de Função Seqüencial (Sequential Function Chart – SFC) não é considerado uma linguagem mas descreve graficamente o comportamento seqüencial de um programa de controle. Este diagrama é uma estrutura que organiza a utilização do programa de qualquer linguagem, dependendo do editor escolhido e por isso serve como ferramenta auxiliar para desenvolver as linguagens textuais e gráficas.

O Comitê Técnico IEC #3, Subcomitê 3B de Documentação, publicou um método de descrever a função e o comportamento dos sistemas de controle que contenham o projeto conceitual e a descrição da seqüência lógica (IEC Pub. 848-1988).

Desenvolvimento e componentes

O diagrama de função seqüencial é constituído de:

1. Passos,
2. Elos dirigidos (links)
3. Transições

O passo descreve um estado permanente (às vezes, momentânea) de um processo seqüencial. Cada passo representa um estado particular do sistema. Um passo é representado por um retângulo com passos anteriores ligados por uma linha formando um caminho. O primeiro passo tipicamente inicializa o sistema.

O elo dirigido mostra a direção do fluxo da lógica.

A transição é usada para mostrar a mudança condicional entre estados permanentes. Uma transição é uma condição, que, quando verdadeira, causa a desativado do passo anterior e ativa o passo seguinte. Uma linha cruzando a linha de ligação entre passos representa uma transição. Há uma transição seguindo cada passo.

Os passos podem ser associados a:
1. Ações
2. Estados
3. Comandos

O bloco de ação dentro de um passo e a transição podem ser programados em qualquer linguagem padrão, ou outras linguagens suportadas pelo editor. Nem todos os editores suportam as quatro linguagens IEC, mas eles podem ser conformes com uma ou mais.

Condições ou comandos para a lógica são associados com transições (Fig. 3.16). Comandos ou ações são qualificados pelas letras símbolo

S (*stored* – armazenado),

D (*delayed* – atrasado),

L (*limited* – limitado em tempo)

P (*pulsed* – pulsado, menor que limitado).

As letras podem ser combinadas (Fig. 4.17). Comandos ou ações podem ser condicionais (letra C), (Fig. 4.18). Condições transitórias podem ser representadas por afirmações textuais, expressões booleanas ou símbolos gráficos (Fig. 4.19).

Uma poderosa capacidade destas cartas de função é que elas podem representar caminhos lógicos paralelos, seleção de seqüência exclusiva (Fig. 4.20) ou seleção de seqüência inclusive (Fig.2.21).
Na Fig. 4.20 a exclusividade é mostrada pela lógica booleana nas transições.
Na Fig. 4.21 a simultaneidade é mostrada pelas linhas duplas, especialmente as mais baixas. Neste caso, a transição c não é habilitada até que os passos 09 e 10 sejam ativados ao mesmo tempo. Assim, e somente assim, a transição pode ser terminada.

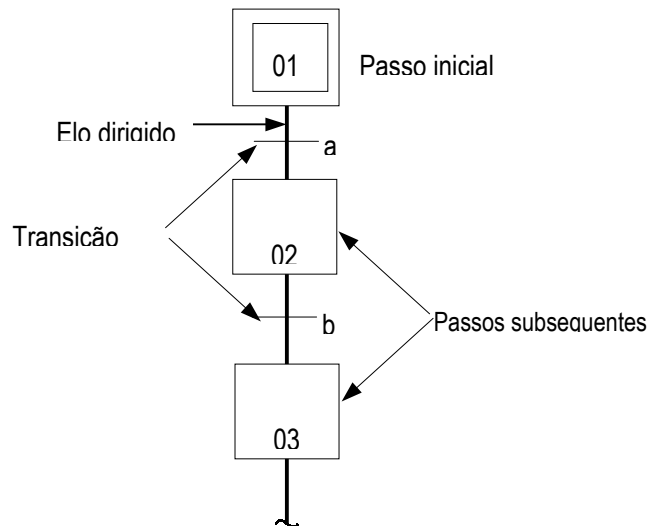



Fig. 4.15. Passos, elos dirigidos e transições

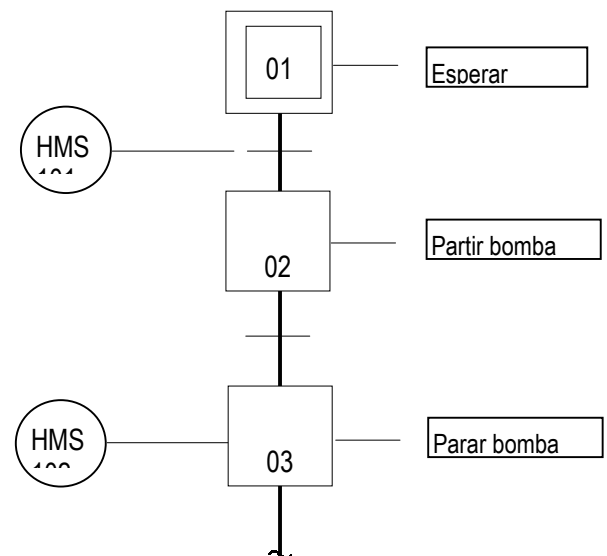



Fig. 4.16. Comandos para e da lógica

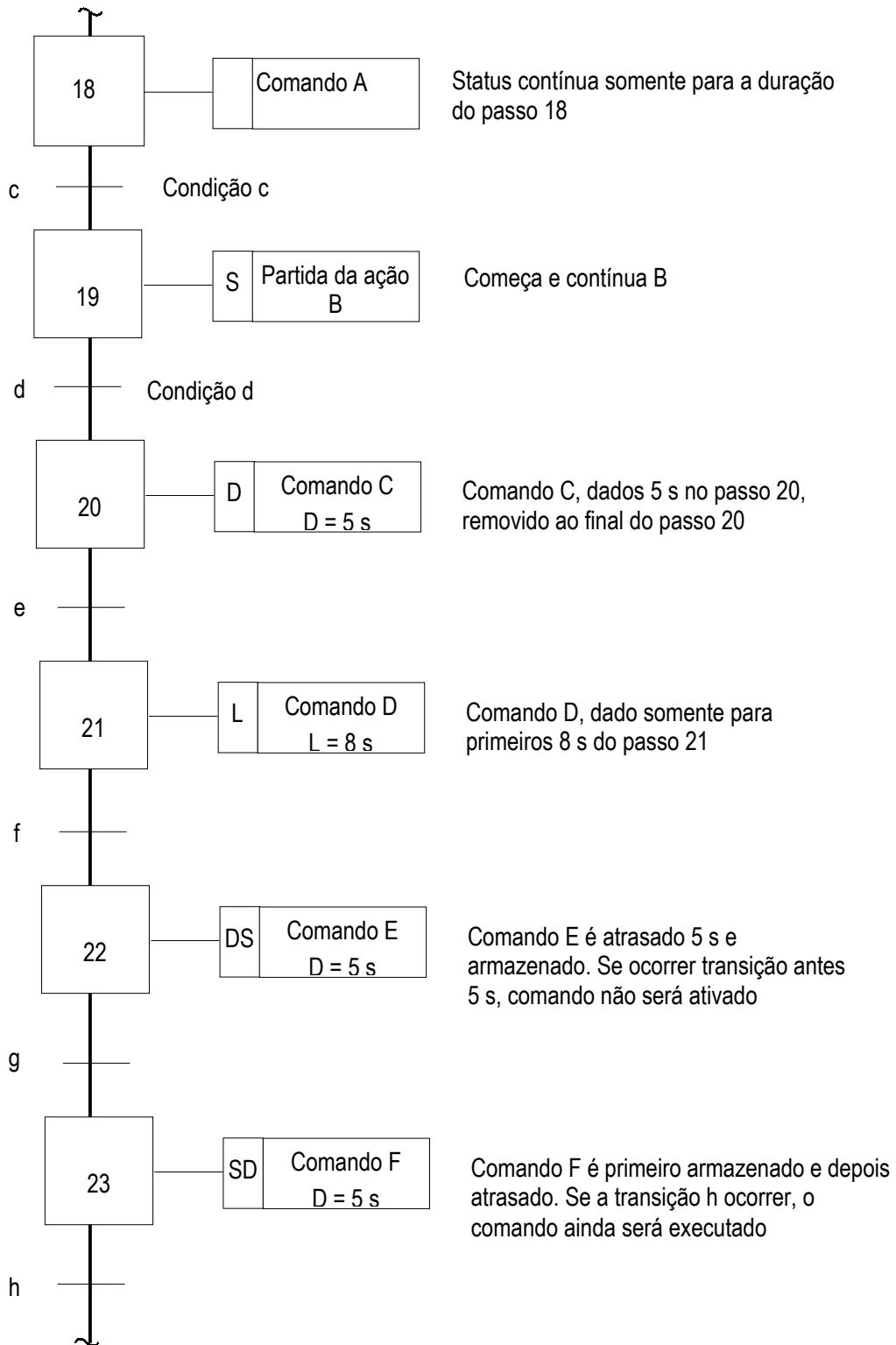



Fig. 2.17. Combinações de comandos ou ações

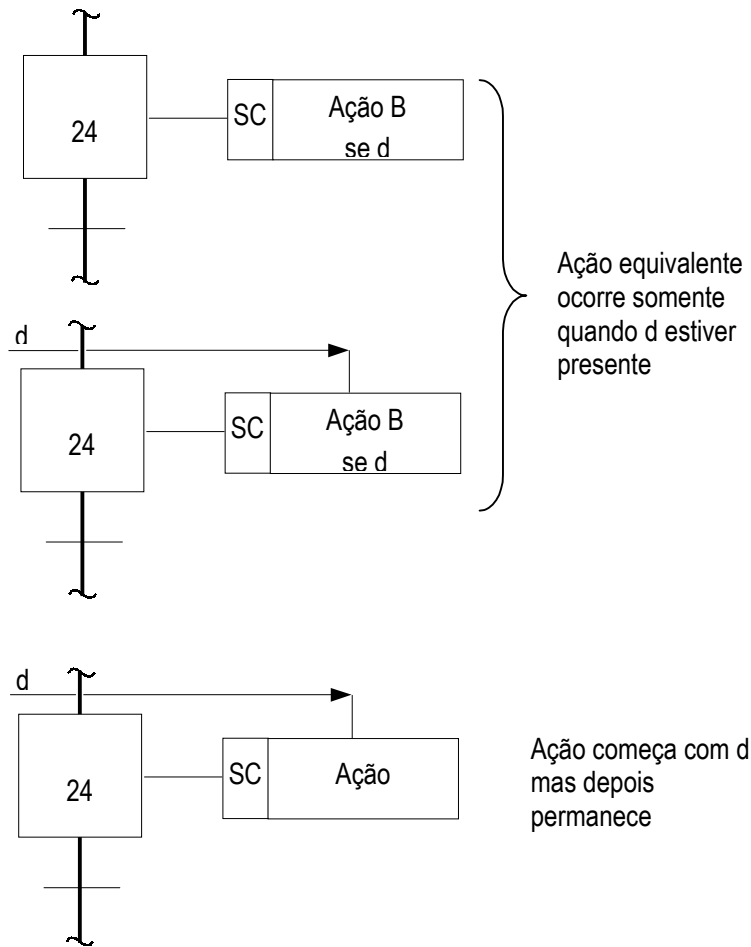



Fig. 2.18. Comandos condicionais

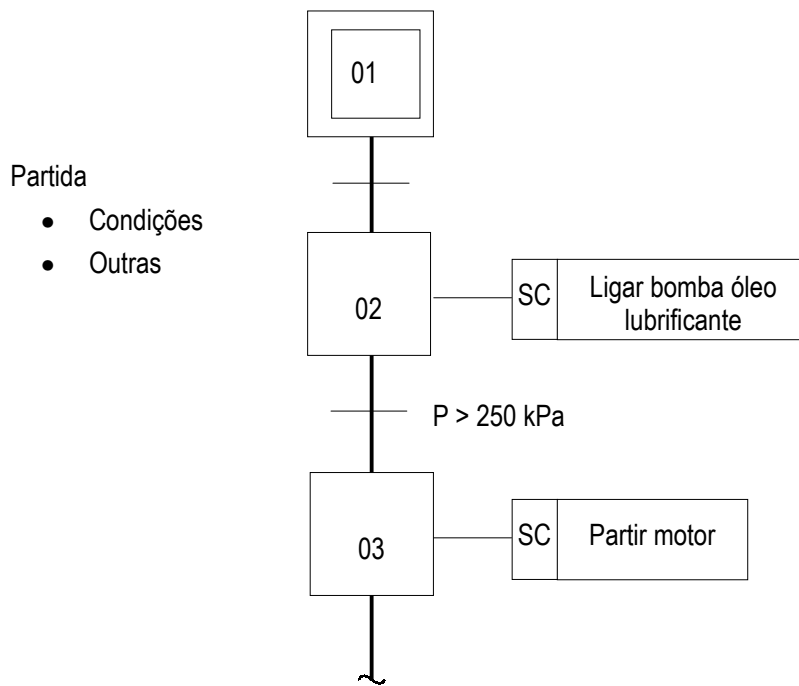
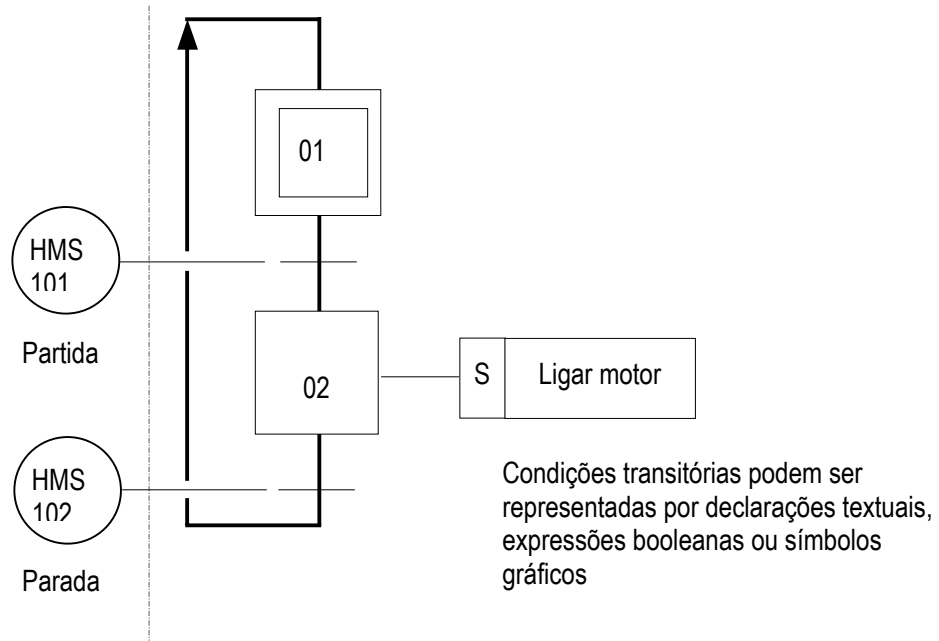



Fig. 2.19. Condições transitórias

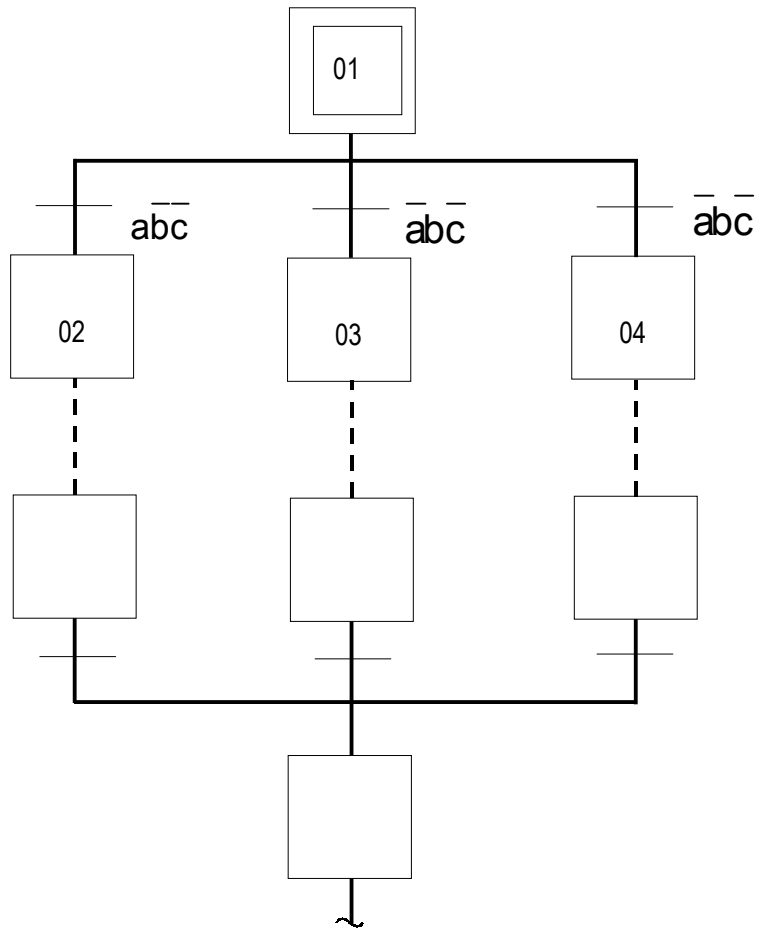



Fig. 2.20. Caminhos paralelos: seleção de seqüência exclusiva

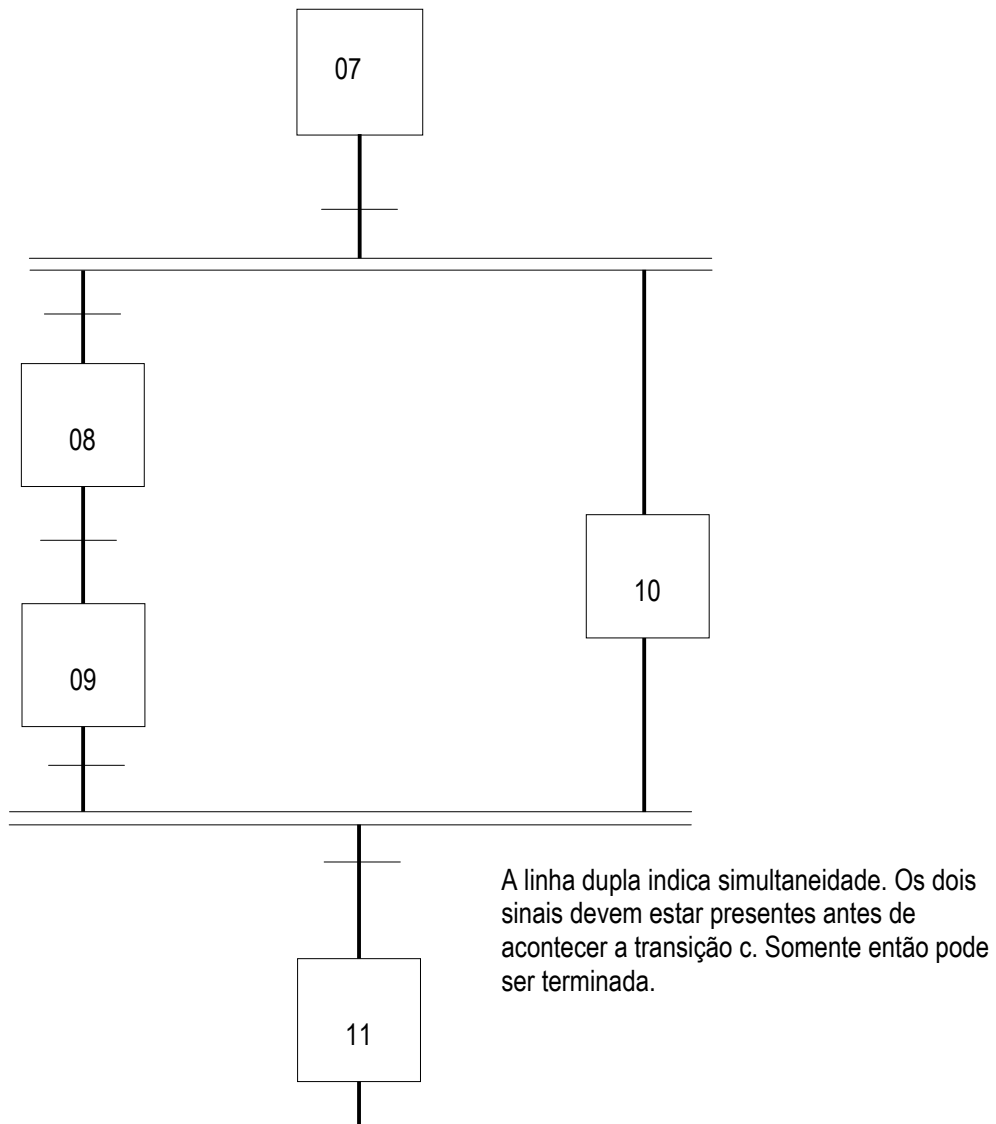



Fig. 2.21. Caminhos paralelos: seleção de seqüência inclusiva

3. Linguagens Textuais

As linguagens textuais definidas na norma IEC 1131-3 são

1. Lista de Instruções (IL - Instruction List)
2. Texto Estruturado (ST – Structureted Text).

Os elementos do diagrama de função seqüencial (SFC) da norma podem ser usados em conjunto com qualquer uma destas linguagens.

3.1. Elementos comuns

Os elementos textuais especificados na norma devem ser comuns com as linguagens textuais (IL e ST). Em particular, os seguintes elementos de estrutura de programa devem ser comuns com as linguagens textuais.

TYPE…END_TYPE	(2.3.3)
VAR…END _VAR	(2.4.3)
VAR_INPUT…END_VAR	(2.4.3)
VAR_OUTPUT…END_VAR	(2.4.3)
VAR_IN_OUT…END_VAR	(2.4.3)
VAR_EXTERNAL…END_VAR	(2.4.3)
FUNCTION…END_FUNCTION	(2.5.1.3)
FUNCTION_BLOCK...END_FUNCTION_BLOCK	(2.5.2.2)
PROGRAM…END_PROGRAM	(2.5.3)
STEP…END_STEP	(2.6.2)
TRANSITION…END_TRANSITION	(2.6.3)
ACTION…END_ACTION	(2.6.4)

3.2. Lista de Instruções

A norma define a semântica e sintaxe formal da linguagem Lista de Instruções de modo detalhado.

Instruções

Uma lista de instruções é composta de uma seqüência de instruções. Cada instrução deve começar em uma nova linha e deve conter um operador com modificadores opcionais e, se necessário para a operação particular, um ou mais operandos separados por vírgulas. Operandos podem ser qualquer representação de dados definida para literais e para variáveis.

A instrução pode ser precedida por uma etiqueta de identificação seguida por dois pontos (:). Um comentário, se necessário e presente, deve ser o último elemento na linha. Linhas vazias podem ser inseridas entre instruções.

Tab. 51 - Exemplos de campos de instrução

Etiqueta	Operador	Operando	Comentário
START	LD	%IX1	(* PUSH BUTTON *)
	ANDN	%MX5	(* NOT INHIBITED *)
	ST	%QX2	(* FAN ON *)

Operadores, Modificadores e Operandos

Operadores padrão com seus modificadores permitidos e operandos estão listados na norma.

A não ser que seja definido diferente, a semântica do operador deve ser a seguinte:

result := result OP operando

Isto é, o valor da expressão sendo calculada é substituído por seu valor corrente operado pelo operador com relação ao operando. Por exemplo, a instrução AND%IX1 é interpretada como:

result := result AND %IX1

Os operadores de comparação devem ser interpretados com o resultado corrente à esquerda da comparação e o operando à direita., com um resultado booleano. Por exemplo, a instrução GT %IW10 terá o resultado booleano igual a 1, se o resultado corrente for maior do que o valor da palavra de entrada 10 e o resultado sejam zero, nos outros casos.

O modificador N indica a negação booleana do operando. Por exemplo, a instrução ANDN %IX2 é interpretada como

result := result AND NOT %IX2

O modificador *abre parêntesis* ou *parentização*, “**(**“ indica que o cálculo do operador deve ser adiado até que o operador *fecha parêntesis* “**)**” seja

encontrado, e.g., a seqüência de instruções

```
AND ( %IX1
OR    %IX2
)
```

deve ser interpretada como

```
result := result AND( %IX1 OR %IX2)
```

O modificador **C** indica que a instrução associada deve ser executada somente se o valor do resultado atualmente calculado seja o booleano 1 (ou booleano 0 se o operador é combinado com o modificador **N**)

Tab. 52 – Características de invocação do bloco de função para linguagem IL

No.	Descrição – Exemplo	
1	CAL com lista de entrada CAL C10(CU := %IX10m PV :=15)	
2	CAL com carga ou entradas de armazenagem:	
	LD	15
	ST	C10 . PV
	LD	%IX10
	ST	C10.CU
	CAL	C10
3	Uso de operadores de entrada	
	LD	15
	PV	C10
	LD	%IX10
	CU	C10
Nota: Uma declaração como VAR C10 : CTU ; END_VAR é assumida nos exemplos acima		

Tab. 5 – Operadores de entrada padrão do bloco de função para linguagem IL

No.	Operadores	Tipo FB	Reference
4	S1,R	SR	2.5.2.3.1
5	S,R1	RS	2.5.2.3.1
6	CLK	R TRIG	2.5.2.3.2
7	CLK	F TRIG	2.5.2.3.2
8	CU,R,PV	CTU	2.5.2.3.3
9	CD,LD.PV	CTD	2.5.2.3.3
10	CU,CD,R,LD,PV	CTUD	2.5.2.3.3
11	IN. PT	TP	2.5.2.3.4
12	IN,PT	TON	2.5.2.3.4
13	IN,PT	TOF	2.5.2.3.4

Funções e blocos de função

Funções devem ser invocadas pela colocação do nome da função no campo do operador. O resultado corrente deve ser usado como o primeiro argumento da função. Argumentos adicionais, se requeridos, devem ser dados no campo do operando. O valor retornado pela função depois da execução bem sucedida de uma instrução RET ou depois de atingir o fim físico da função deve se tornar o *resultado corrente*.

Blocos de Função podem ser invocados condicional ou incondicionalmente via operador CAL (chamada – call). Como mostrado na norma, esta invocação pode ser de três formas diferentes, como mostrado na **Tab.** 53.

Tab. 52 – Operadores da linguagem Lista de Instruções (IL)

No	Operador	Modificador	Operando	Semântica
1	LD	N	Nota 2	Estabelece o resultado corrente igual ao operando
2	ST	N	Nota 2	Armazena o resultado corrente para o local do operando
3	S R	Nota 3 Nota 3	BOOL BOOL	Coloca o operando booleano igual a 1 Coloca o operando booleano igual a 0
4	AND	N, (	BOOL	Booleano AND
5	&	N, (	BOOL	Booleano AND
6	OR	N, (	BOOL	Booleano OR
7	XOR	N, (	BOOL	Booleano OR Exclusivo
8	ADD	(	Nota 2	Adição
9	SUB	(	Nota 2	Subtração
10	MUL	(	Nota 2	Multiplicação
11	DIV	(	Nota 2	Divisão
12	GT	(	Nota 2	Comparação : >
13	GE	(	Nota 2	Comparação : >=
14	EQ	(	Nota 2	Comparação : =
15	NE	(	Nota 2	Comparação : <>
16	LE	(	Nota 2	Comparação : <=
17	LT	(	Nota 2	Comparação : <
18	JMP	C, N	LABEL	Salte para label
19	CAL	C, N	NAME	Chama o bloco de função (Nota 4)
20	RET	C, N		Retorna da função chamada ou bloco de função
21	)	C, N		Avalia a operação adiada

Notas:

1. Ver explicação dos modificadores e avaliação das expressões (3.2.2)
2. Estes operadores devem ser sobrecarregados ou entrados conforme a norma (2.5.1.4). O resultado corrente e o operando devem ser do mesmo tipo
3. Estas operações são feitas se e somente se o valor do resultado corrente é o booleano 1.
4. O nome do bloco de função é seguido de um argumento entre parêntesis (3.2.3)
5. Quando uma instrução JMP é contida em uma construção ACTION...END_ACTION, o operando deve ser um label dentro da mesma construção.

Tab. 55. Operadores da Linguagem de Texto Estruturado

No	Operação	Símbolo	Precedência
1	Parêntesis	(Expressão)	Mais alta
2	Avaliação da função	Identificador (lista de argumentos)	
	Exemplos	LN(A), MAX(S,Y), etc.	
3	Exponenciação	**	
4	Negação	-	
5	Complemento	N	
6	Multiplicação	*	
7	Divisão	/	
8	Módulo	MOD	
9	Soma	+	
10	Subtração	-	
11	Comparação	<, >, <=, >=	
12	Igualdade	=	
13	Desigualdade	<>	
14	Booleana AND	&	
15	Booleana AND	AND	
16	Booleana OR Exclusivo	XOR	
17	Booleana OR	OR	Mais baixa

Notas:

1. As mesmas restrições se aplicam aos operandos destes operadores quando as entradas das funções correspondentes definidas em 2.5.1.5
2. O resultado da avaliação da expressão A**B deve ser o mesmo que o resultado da avaliação da função EXPT(A, B)

Tab. 56 – Comandos da linguagem Texto Estruturado

No.	Tipo de comando (Referencia)	Exemplos
1	Atribuição (3.3.2.1)	A := B; CV := CV+1 ; C := SIN(X) ;
2	Invocação do bloco de função e uso da saída do bloco de função	CMD_TMR(IN := %IX5. PT := T#300ms) ; A:= CMD_TMR.Q ;
3	RETURN (3.3.2.2)	RETURN;
4	IF (3.3.2.3)	D:=.B*B – 4*A*C; IF D < 0.0 THEN NROOTS := 0 ; ELSIF D := 0.0 THEN NROOTS :=1; X1 := - B/ (2.0*A) ;. ELSE NROOTS := 2 ; X1 := (-B+SQRT(D))/(2.0*A) ; X2 := (-B-SQRT(D))/(2.0*A) ; END_IF ;
5	CASE (3.32.3)	TW := BCD_TO _INT(THUMBWHEEL) ; TW_ERROR := 0 ; CASE TW OF 1.5 : DISPLAY := OVEN_TEMP ; 2 : DISPLAY := MOTOR_SPEED ; 3 : DISPLAY:= GROSS_TARE ; 4.6..10: DISPLAY := STATUS (TW-4) ; ELSE DISPLAY:= O ; TW_ERROR := 1 ; END_CASE ; QW100 := INT_TO_BCD(DISPLAY) ;

6	FOR (3.3.2.4)	J := 101 ;
		FOR 1:= 1 TO 100 BY 2 DO
		IF WORDS[I] = ‘KEY' THEN
		J:=1;
		EXIT;
		END IF ;
		END FOR ;

7	WHILE (3.3.2.4)	J:= 1 ; WHILE J <= 100 & WORDS[J] <> 'KEY' DO J:-J+2; END_WHILE ;
8	REPEAT;	J: =-1 ; REPEAT J:= J+2; UNTIL J := 101 OR WORDS[JJ = 'KEY' END_REPEAT
9	EXIT (3.3.2.4)	EXIT;
10	Comando vazio	;

3.3. Linguagem de Texto Estruturado

A norma define a semântica e sintaxe da linguagem Texto Estruturado. Nesta linguagem, o fim da linha de texto deve ser tratado do mesmo modo que o caractere espaço (SP – space).

Expressões

Uma expressão é uma construção que, quando executada, fornece um valor correspondente a um dos tipos de dados definidos na norma.

Expressões são compostas de operadores e operandos. Um operando pode ser

1. um literal
2. uma variável
3. uma invocação de função
4. outra expressão

Os operadores da linguagem de Texto Estruturado estão resumidos na norma. A avaliação de uma expressão consiste em aplicar o operador ao operando, em uma seqüência definida pela precedência do operador. O operador com precedência mais alta em uma expressão deve ser aplicado primeiro, seguido pelo operador da próxima precedência mais baixa, até completar a avaliação. Operadores de igual precedência devem ser aplicadas como escrito na expressão, da esquerda para a direita. Por exemplo, se A, B, C e D são do tipo INT com valores 1, 2, 3 e 4, respectivamente, então:

A+B-C*ABS(D)

deve ser avaliado como –9 e

(A+B-C)*ABS(D)

deve ser avaliado como 0.

Quando um operador tem dois operandos, o operando mais à esquerda deve ser avaliado primeiro. Por exemplo, na expressão

SIN(A)*COS(B)

A expressão SIN(A) deve ser avaliada primeira, seguida por COS(B), seguida pela avaliação do produto dos dois.

Expressões booleanas devem ser avaliadas somente para a extensão necessária para determinar o valor resultante. Por exemplo, se A<=B, então somente a expressão A>B seria avaliada para determinar que o valor da expressão

A>B)&(C<D)

é o booleano 0.

Funções devem ser invocadas como elementos de expressões consistindo do nome da função seguido pelo argumento entre parêntesis.

Quando um operador em uma expressão pode ser representado como uma das funções sobrecarregadas, a conversão dos operados e resultados devem ser as regras e exemplos dados na norma.

Comando (Statement)

Os tipos de comandos da linguagem de texto estruturado são sumarizados na **Tab. 56**. O comando deve ser terminado por ponto de virgula (;).

Comando de atribuição (assignment statement)

O comando de atribuição substitui o valor corrente de uma variável simples ou multi-elemento pelo resultado da avaliação de uma expressão. Ele consiste de uma variável de referência à esquerda, seguida pelo operador de atribuição ":=", seguido pela expressão a ser avaliada. Por exemplo, o comando

A := B ;

Deve ser usado para substituir o valor do dado de uma variável A pelo valor corrente da variável B, se ambos forem do tipo INT. Porém, se ambos A e B forem do tipo ANALOG_CHANNEL_CONFIGURATION, então os valores de todos os elementos da variável estruturada A devem ser substituídos pelos valores correntes dos elementos correspondentes da variável B.

Como ilustrado na fig. 6, o comando atribuição pode ser também usado para atribuir o valor a ser retornado pela função, colocando nome da função para a esquerda de um operador de atribuição no corpo da declaração da função. O valor

retornado pela função deve ser o resultado da avaliação mais recente de tal atribuição. É um erro retornar da avaliação de uma função com a saída ENO diferente de zero, a não ser que, no mínimo, tal atribuição tenha sido feita.

Comandos de controle de função e blocos de função

Comandos de controle de função e blocos de função consistem de mecanismos para invocar blocos de função e para controlar o retorno da entidade de invocação, antes do fim físico de uma função ou bloco de função.

A avaliação da função deve ser invocada como parte da avaliação de expressão.

Blocos de função devem ser invocados por um comando consistindo do nome do bloco de função, seguido por uma lista de atribuições de valores de parâmetros de entrada entre parêntesis, como mostrado na **Tab.** 56. A ordem em que os parâmetros de entrada são listados em uma invocação de bloco de função não é importante. Não é necessário que todos os parâmetros de entrada tenham valores atribuídos em cada invocação de um bloco de função. Se um determinado parâmetro não tem atribuído um valor em uma invocação de bloco de função, será aplicado o valor atribuído anterior (ou o valor inicial, se não houver nenhum anterior definido).

O comando RETURN dá a saída de uma função ou bloco de função, e.g., como o resultado da avaliação de um comando IF.

Comando de Seleção

Os comandos de seleção incluem o IF e CASE. Um comando de seleção escolhe um ou um grupo de seus comandos componentes para execução, baseado em uma condição especificada. Exemplos de comandos de seleção são dados na **Tab.** 56.

O comando IF especifica que um grupo de comandos deve ser executado somente se a expressão booleana associada é verdadeira (resultado da avaliação é 1). Se a condição é falsa, então nenhum outro comando é executado ou o grupo de comando seguindo o ELSE (senão) é executado.

O comando CASE consiste de uma expressão que avalia variáveis do tipo INT e uma lista de grupos de comando, cada grupo sendo identificado por um ou mais inteiros ou faixas de valores inteiros. Ele especifica que o primeiro grupo de comandos, uma destas faixas contém o valor computado pelo seletor, deve ser executado. Se o valor do seletor não ocorre em uma fase de qualquer caso, a seqüência do comando seguindo a palavra chave ELSE, caso ela ocorra, deve ser executada. Nos outros casos, nenhuma das seqüências de comandos é executada.

Comandos interativos

Comandos iterativos especificam que o grupo de comandos associados deve ser executado repetidamente. O comando FOR é usado se o número de iterações pode ser determinado a priori, nos outros casos, as construções WHILE (enquanto) ou REPEAT (repetir) são usadas.

O comando EXIT (sair) deve ser usado para terminar iteacoes antes que a condição de terminação seja satisfeita.

Quando o comando EXIT é localizado dentro de construções iterativas encadeadas, a saída será da malha mais interna em que o EXIT esteja localizado, isto é, o controle passa para o comando seguinte depois do terminados da primeira malha (END_FOR, END_WHILE ou END_REPEAT) seguindo o comando EXIT. Por exemplo, depois de executar os comandos mostrados na **Fig.** 22, o valor da variável SUM deve ser 15, se o valor da variável booleana FLAG é 0 e 6 se FLAG = 1.

```
   SUM := 0 ;
   FOR I := 1 TO 3 DO
      FOR J := 1 TO 2 DO
            IF FLAG THEN EXIT ;
END_IF
            SUM :- SUM + J
      END_FOR ;
      SUM := SUM + i ;
   END_FOR :
```

Fig. 22 – Exemplo do comando EXIT

O comando FOR indica que a seqüência de comandos deve ser executada repetidamente, até a palavra chave END_FOR enquanto a progressão dos valores é atribuída para a variável de controle da malha FOR. A variável de controle, valor inicial e valor final devem ser expressões do mesmo tipo de inteiro (SINT, INT ou DINT) e não podem ser alteradas por qualquer um dos comandos repetidos. O comando FOR incrementa a variável de controle para cima ou para baixo de um valor inicial até um valor final, em incrementos determinados pelo valor de uma expressão; este valor default é 1. O teste para a condição de terminação é feito no início de cada iteração, de modo que a seqüência de comando não é executada se o valor inicial excede o valor final. O valor da variável de controle depois de terminar a malha FOR é dependente da implementação.

Um exemplo do uso do comando FOR é dado na característica 6 da **Tab.** 56. Neste exemplo, a amlha FOR é usada para detrminar o índice J da primeira ocorrência (se existir) do string KEY nos elementos de número impar de uma matriz de strings WORDS com uma faixa de índice de 1 a 100. Se nenhuma ocorrência é verificada, J terá o valor 101.

O comando WHILE causa a seuencia de comandos até a palavra chave END_WHILE ser executada repetidamente até a expressão booleana associada ser falsa. Se a expressão é inicialmente falsa, então o grupo de comandos não é executado. Por exemplo, FOR..._END_FOR pode ser reescrito usando o WHILE...END_WHILE, como mostrado em **Tab.** 56.

Os comandos WHILE e REPEAT não podem ser usados para conseguir a sincronização dentro do processo, por exemplo, como uma *malha* WAIT com uma condição de terminação determinada externamente. Os elementos do diagrama de função seqüencial são usados com este objetivo.

É um erro que viola a norma ter um comando WHILE ou REPEAT em um algoritmo para que a satisfação da condição de terminação da malha ou execução de um comando EXIT não possa ser garantida.

4. Linguagens Gráficas

4.1. Elementos comuns

Há elementos comuns aplicados às duas linguagens gráficas (Diagrama Ladder e Diagrama de Bloco de Função) e à representação de função seqüencial.

Representação de linhas e blocos

<table>
<tr><th>N°</th><th>Característica</th><th>Exemplo</th></tr>
<tr><td>1</td><td>Linha horizontal: caractere menos</td><td>------</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Linha vertical: caractere linha vertical</td><td>|</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Conexão horizontal-vertical: sinal mais</td><td>|
---+---
|</td></tr>
<tr><td>4</td><td>Cruzamento de linha sem conexão</td><td>| |
------- |----
| |</td></tr>
<tr><td>5</td><td>Cantos ligados e não ligados</td><td>| |
----+-----+----
|
----+-+ +----
| | |</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Blocos com linhas de conexão</td><td>|
+--------+
---| |
| |---
---| |
+--------+
|</td></tr>
<tr><td>7</td><td>Conexão com caracteres: Conector Continuação da linha de um conector</td><td>-------->OTTO>
>OTTO>--------</td></tr>
</table>

Direção do fluxo em circuitos

Um circuito é definido como um conjunto máximo de elementos gráficos interligados, excluindo as linhas verticais à esquerda e à direita no diagrama ladder.

Fluxo de potência – análogo ao fluxo de potência em um sistema com relés eletromagnéticos, tipicamente usado em diagramas ladder. O fluxo de potência em

uma linguagem de diagrama ladder deve ser da esquerda para a direita.

Fluxo de sinal - análogo ao fluxo de sinais entre elementos de um sistema de processamento de sinais, tipicamente usado em diagrama de bloco de função. O fluxo de sinal em uma linguagem de diagrama de bloco de função deve ser da saída (lado direito) de um bloco de função para a entrada (lado esquerdo) da função ou do bloco de função assim ligado.

Fluxo de atividade – usado em diagrama de função seqüencial. O fluxo de atividade dos elementos de diagrama de função seqüencial deve ser do fundo de um passo através da transição apropriada para o topo do passo sucessor correspondente.

Avaliação de circuitos

A ordem em que os circuitos e seus elementos são avaliados não é necessariamente a mesma ordem em que eles são identificados ou mostrados. Não é necessário que os circuitos sejam avaliados antes da avaliação de um dado circuito possa ser repetido. As seguintes regras devem ser obedecidas:

1. Nenhum elemento de um circuito deve ser avaliado até que os estados de todas as entradas tenham sido avaliados.
2. A avaliação de um elemento de circuito não é completada até que os estados de todas as suas saídas tenham sido avaliados.
3. A avaliação de um circuito não é completada até que as saídas de todos os seus elementos tenham sido avaliadas, mesmo se o circuito contenha um dos elementos de controle de execução definidos em 4.1.4.

Existe um caminho de realimentação em um circuito quando a saída de uma função ou bloco de função é usada como entrada para uma função ou bloco de função que o precede no circuito; a variável associada é chamada de variável de realimentação.

Elementos de controle de execução

Os elementos gráficos da transferência do controle do programa nas linguagens gráficas são definidos na norma.

O jump (salto) deve ser mostrado por uma linha de sinal booleano terminada em uma dupla seta (>>). A linha de sinal para uma condição de jump deve originar em

1. variável booleana,
2. saída booleana de uma função ou bloco de função
3. linha de fluxo de potência de um diagrama ladder

Uma transferência de controle de controle para a identificação do circuito designado deve ocorrer quando o valor booleano da linha de sinal for 1 (verdadeiro), assim, o jump incondicional é um caso especial do jump condicional.

O alvo de um jump deve ser uma etiqueta do circuito dentro da unidade de organização do programa, dentro da qual ocorre o jump. Se o jump ocorre dentro de uma construção ACTION...END_ACTION, o alvo do jump deve estar dentro da mesma construção.

Retornos condicionais de funções e blocos de função devem ser implementados usando uma construção RETURN. A execução do programa será transferida de volta para a entidade de invocação, quando a entrada booleana for 1 (verdadeiro) e deve continuar no modo normal quando a entrada booleana for 0 (falso). Retornos incondicionais devem ser fornecidos pelo fim físico da função ou bloco de função ou pelo elemento RETURN ligado ao lado esquerdo da linguagem ladder.

Serão vistas a seguir, com detalhes, as duas programações gráficas mais usadas na programação de CLP:

1. Diagrama Ladder
2. Diagrama de bloco funcional

Definições (Cfr. Norma IEC 1131-3)

Absoluto, tempo

A combinação do tempo do dia e data.

Ação

Uma variável booleana ou uma coleção de operações a serem feitas, junto com uma estrutura de controle associada (2.6.4)

Ação, bloco de

Um elemento de linguagem gráfica que utiliza uma variável de entrada booleana para determinar o valor de uma variável de saída booleana ou a condição que habilita uma ação de acordo com uma estrutura de controle predeterminada (2.6.4.5).

Acesso, caminho de

Associação de um nome simbólico com uma variável para o objetivo de comunicação aberta.

Agregado

Uma coleção estruturada de objetos de dados, formando um tipo de dado.

Argumento

Mesmo que parâmetro de entrada ou parâmetro de saída.

Avaliação (evaluation)

O processo de estabelecer um valor para uma expressão ou uma função ou para as saídas de um circuito ou bloco de função, durante a execução do programa.

Atribuição (assigment)

Um mecanismo para dar um valor a uma variável ou para um agregado.

Base, número

Um número representado em uma base específica diferente de 10.

Biestável, bloco de função

Bloco de função com dois estados biestáveis, controlado por uma ou mais entradas.

Bit string

Um elemento de dado consistindo de um ou mais bits.

Bloco de função, tipo

Um elemento de linguagem de programação de controlador lógico programável consistindo de:

1. definição de uma estrutura de dado particionada em entrada, saída e variáveis internas
2. um conjunto de operações a serem executadas nos elementos da estrutura de dados, quando uma instância do tipo bloco de função é invocada.

Bloco de função, diagrama

Um ou mais circuitos de funções representadas graficamente, blocos de função, elementos de dados, etiquetas e elementos de ligação.

Call

Uma construção de linguagem para invocar (chamar) a execução de uma função ou bloco de funções.

Canto de descida (falling edge)

A mudança de 1 para 0 de uma variável booleana.

Canto de subida (rising edge)

A mudança de 0 para 1 de uma variável booleana.

Caracter string

Um agregado que consiste de uma seqüência ordenada de caracteres.

Chave palavra (keyword)

Uma unidade léxica que caracteriza um elemento de linguagem, e.g., “IF”.

Comentário

Uma construção de linguagem para a inclusão de texto em um programa e não tendo impacto na execução do programa.

Compilar

Transladar uma unidade de organização de programa ou especificação de dados em sua linguagem de maquina equivalente ou em forma intermediária.

Configuração

Um elemento de linguagem correspondendo a um sistema de controlador lógico programável.

Contador, bloco de função

Um bloco de função que acumula um valor para o número de variações sentidas em uma ou mais entradas especificadas.

Corpo (body)

Porção de uma unidade de organização de programa que especifica as operações a serem feitas nos operandos declarados da unidade de organização do programa quando sua execução é invocada.

Dado, tipo

Um conjunto de valores junto com um conjunto de operações permitidas.

Dado e tempo

A data dentro do ano e o tempo do dia, representado conforme ISO 8601.

Declaração

O mecanismo de estabelecer a definição de um elemento de linguagem. Uma declaração normalmente envolve anexar um identificador ao elemento de linguagem e alocar atributos, tais como tipos de dados e algoritmos a ele.

Delimitador

Um caractere ou combinação de caracteres usados para separar elementos de linguagem de programa.

Direta, representação

Um meio de representar uma variável em um programa de controlador lógico programável, do qual uma correspondência específica do fabricante a um local físico ou lógico pode ser determinada diretamente.

Dupla palavra

Um elemento de dado contendo 32 bits.

Entrada parâmetro (Entrada)

Um parâmetro que é usado para fornecer um argumento a uma unidade de organização de programa.

Escopo

A porção de um elemento de linguagem dentro da qual se aplica uma declaração ou uma etiqueta.

Etiqueta (Label)

Uma construção de linguagem nomeando uma instrução, circuito ou grupo de circuitos e incluindo o identificador.

Execução, elemento de controle

Um elemento de linguagem que controla o fluxo de execução do programa.

Fonte (resource)

Um elemento de linguagem correspondendo a qualquer uma “função de processamento de sinal” e sua “interface homem-máquina” e “funções de interface sensor e atuador”.

Função

Uma unidade de organização de programa que, quando executada, fornece exatamente um elemento de dado (que pode ter vários valores, e.g., uma matriz ou estrutura) e cuja invocação pode ser usada em linguagens textuais como um operando em uma expressão.

Genérico, tipo de dado

Um tipo dado que representa mais do que um tipo de dados. (2.3.2).

Global escopo

Escopo de uma declaração aplicando a todas as unidades de organização de programa dentro de uma fonte ou configuração.

Global, variável

Uma variável cujo escopo é global.

Hierárquico endereçamento

A representação direta de um elemento de dado como um membro de uma hierarquia física ou lógica, e.g., um ponto

dentro de um módulo que é contido em um armário, que por sua vez, é contido em um cubículo.

Identificador

Uma combinação de letras, números, caracteres sublinhados, que começa com uma letra ou sublinhado e que nomeia um elemento de linguagem.

Inicial valor

Um identificador associado com uma instância específica.

Instância

Uma cópia individual e nomeada da estrutura de dados associada com um tipo bloco de função ou tipo programa, que persiste de uma invocação das operações associadas para a próxima.

Instância, nome

Um identificador associado com uma instância específica.

Instanciação

Criação de uma instância.

Inteiro literal

Um literal que representa diretamente um valor de tipo SINT, INT, DINT, LINT, BOOL, BYTE, WORD, DWORD ou LWORD (2.3.1).

Invocação

Processo de iniciar a execução das operações especificadas em uma unidade de organização de programa.

Linguagem, elemento de

Qualquer item identificado por um símbolo no lado esquerdo de uma regra de produção na especificação formal dada no anexo B desta norma.

Literal

Uma unidade léxica que representa diretamente um valor.

Local escopo

O escopo de uma declaração ou etiqueta aplicando somente para a unidade de organização do programa em que a declaração ou etiqueta aparece.

Lógico local

O local de uma variável hierarquicamente endereçada em um esquema que pode ou não ter qualquer relação com a estrutura física das entradas, saídas e memórias do controlador lógico programável.

Long palavra

Um elemento de dado de 64 bits.

Long real

Um número real representado em uma palavra longa.

Matriz (array)

Um agregado que consiste de objetos de dados, com atributos idênticos, cada um podendo ser referenciado como subscripting.

Memória (armazenagem de dado do usuário)

Uma unidade funcional para a qual o programa do usuário pode armazenar dados e da qual ele pode recuperar os dados armazenados.

Nomeado, elemento

Um elemento de uma estrutura que é nomeada por seu identificador associado.

Off-delay timer (on-delay), bloco de função

Um bloco de função que atrasa o canto de descida (subida) de uma entrada booleana por uma duração específica.

Operador

Um símbolo que representa a ação a ser executada em uma operação.

Operando

Um elemento de linguagem em que uma operação é executada.

OR fiado (wired)

Uma construção para obter a função booleana OR na linguagem de diagrama ladder, ligando juntos os lados direitos das ligações horizontais com as ligações verticais.

Overloaded

Com relação a uma operação ou função, capaz de operar em dados de diferentes tipos. (2.5.1.4).

Passo (step)

Uma situação em que o comportamento de uma unidade de

organização de programa com relação a suas entradas e saídas segue um conjunto de regras definido pelas ações associadas do passo.

Potência, fluxo de

O fluxo simbólico da potência elétrica em um diagrama ladder, usado para denotar a progressão da solução de um algoritmo lógico.

Pragmática

As relações de caracteres ou grupos de caracteres para sua interpretação e uso.

Programar (verbo)

Projetar, escrever e testar programas do usuário.

Real literal

Um literal representando dados do tipo REAL ou LREAL.

Retentivo, Dado

Dado armazenado, de tal modo que seu valor permanece inalterado depois de uma seqüência desligamento/ligamento de energia.

Retorno

Uma construção de linguagem dentro de uma unidade de organização de programa designando um fim para as seqüências de execução na unidade.

Saída, parâmetro de (Saída)

Um parâmetro que é usado para retornar o resultado da avaliação de uma unidade de organização de programa.

Semântica

A relação entre os elementos simbólicos de uma linguagem de programação e seu significado, independente da sua interpretação e uso.

Semigráfica Representação

Representação da informação gráfica usando um conjunto limitado de caracteres.

Simbólica, representação

O uso de identificadores para nomear variáveis.

Sintaxe

Relação entre elementos simbólicos, independente de seu significado, interpretação ou uso. Regras governando a estrutura de uma linguagem.

Simples, Elemento de dados

Um elemento de dado consistindo de um único valor.

Subscripting

Um mecanismo para referenciar um elemento de matriz por meio de uma referência de matriz e uma ou mais expressões que, quando avaliadas, denota a posição do elemento.

Tarefa (task)

Um elemento de controle de execução fornecido para execução gatilhada ou periódica de um grupo de unidades de organização de programa associadas.

Tempo literal

Um literal representando ddos do tipo TIME, DATE, TIME_0F_DAY ou DATE_AND_TIME.

Tipo de dado estruturado

Um dado tipo agregado que tem sido declarado usando uma declaração STRUCT ou FUNCTION_BLOCK.

Transição

A condição onde o controle passa de um ou mais passos anteriores para um ou mais passos posteriores ao longo de um caminho dirigido.

Unidade de organização de programa

Uma função, bloco de função ou programa. (O termo pode se referir a um tipo ou a uma instância).

Unsigned, inteiro

Um inteiro literal não contendo o sinal inicial de mais (+) ou menos (-).

5

Diagrama Ladder

5.1. Introdução

Diagrama ladder é uma representação ordenada em forma de escada de componentes e conexões de um circuito elétrico. O diagrama ladder é também chamado de diagrama elementar ou diagrama de linha. O termo ladder (escada) se aplica porque ele parece com uma escada, contendo degraus. É o diagrama básico associado com o controle lógico programado.

5.2. Componentes

Os elementos constituintes de um diagrama ladder podem ser divididos em componentes de entrada e de saída. O principal componente de entrada é o contato.

Quanto à operação o contato pode ser retentivo ou não retentivo. Quanto à lógica, o contato pode ser normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF). Quanto à operação, o contato pode ser de chave manual ou de automática, (pressostato, termostato, chaves automáticas de nível e de vazão, chave térmica de motor). . Quanto ao tempo, os contatos podem ser instantâneos ou temporizados para abrir ou fechar.

O principal componente de saída é a bobina, associada ao *starter* de motor, ao relé ou solenóide. Outros componentes incluem lâmpada piloto, sirene ou buzina.

Existem outros componentes, porém estes são os mais importantes e usados e são suficientes para o entendimento dos diagramas encontrados nas aplicações práticas.

5.3. Regras de composição

1. Há algumas práticas comuns a todos os diagramas ladder, como:
2. Entradas, chaves e contatos são colocados no início da linha, no lado esquerdo.
3. Saídas, bobinas e lâmpadas piloto são colocadas no fim da linha, no lado direito.
4. Uma linha de entrada pode alimentar mais de uma saída. Quando isso ocorre, as saídas estão ligadas em paralelo.
5. Chaves, contatos e entradas podem ter contatos múltiplos em série, paralelo ou combinação de série e paralelo.
6. As linhas são numeradas consecutivamente, à esquerda e de cima para baixo.
7. Dá-se um único número de identificação para cada nó de ligação.
8. As saídas podem ser identificadas por função, no lado direito, em notas.
9. Pode-se incluir um sistema de identificação de referência cruzada, no lado direito. Os contatos associados com a bobina ou saída da linha são identificados pelo número da linha.
10. Os contatos de relé são identificados pelo número da bobina do relé mais um número seqüencial consecutivo. Por exemplo, os três contatos do relé CR_7 são CR_7-1, CR_7-2 e CR_7-3.

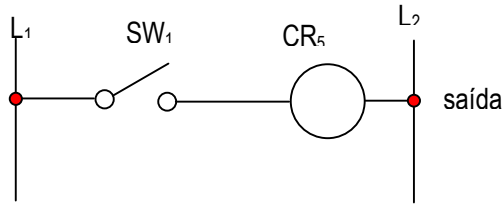



Fig. 5.1. Diagrama ladder básico, para uma chave manual que liga a saída de um relé:

L_1, L_2 linhas de alimentação
SW_1 contato de chave manual
CR_5 bobina do relé CR_5

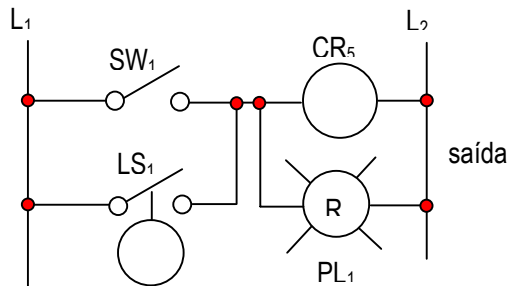



Fig. 5.2. Duas chaves em paralelo (manual SW_1 e automática de nível LS_1) controlam a saída do relé CR_5 e uma lâmpada piloto PL_1 vermelha (R).

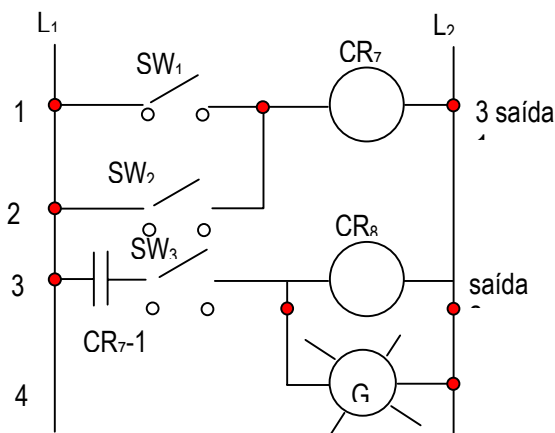



Fig. 5.3. Diagrama ladder com duas funções

5.4. Exemplos

Exemplo 1

O diagrama ladder da Fig.5.1, está associado a um sistema com uma chave que liga-desliga um relé de saída, CR5. A Fig. 5.2 mostra um sistema de controle com linhas paralelas na entrada e na saída. Qualquer uma das duas chaves liga-desliga a saída e a lâmpada piloto. O diagrama da figura possui duas linhas funcionais ativas.

O diagrama ladder da Fig. 5.3 tem a seguinte seqüência de operação:

1. No início, todas as chaves estão abertas, as bobinas estão desligadas
2. Fechando SW_1 ou SW_2 ou ambas, CR_7 é energizada.
3. Na linha 3, o contato NA CR_7-1 fecha, habilitando a linha 3 e CR_8 ainda está desligada
4. Fechando a chave manual SW_3, CR_8 é energizada e a lâmpada piloto verde (G) é acesa
5. Abrindo as duas chaves SW_1 e SW_2, tudo é desligado
6. Em operação, desligando SW_3, CR_8 é desligado, PL_1 é desligada mas CR_7 contínua ligada.

Exemplo 2

As seguintes modificações podem ser feitas ao diagrama da Fig.5. 3:

SW_4 deve estar ligada para CR_7 ficar ligada

CR_7 deve estar desligada para CR_8 estar ligada

CR_9 é ligada por CR_7, CR_8 e SW_3.

O diagrama completo é mostrado na Fig 5. Há uma linha pontilhada entre os dois contatos SW_3, indicando uma única chave comum com dois contatos (Se SW_3 estivesse na esquerda, somente um contato seria necessário para energizar as linhas 3, 4 e 5).

Uma linha adicional de operação poderia ser acrescentada ao diagrama ladder, como a linha 6 mostrada na figura 5. A seqüência adicionada seria a seguinte:

CR_7 ou CR_8 ou ambas, mais LS_{12} e CR_9 ligam a saída do relé CR_{10}.

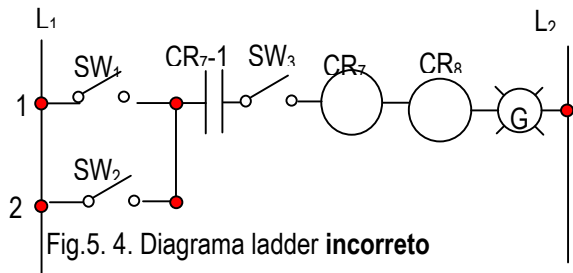



Fig.5. 4. Diagrama ladder **incorreto**

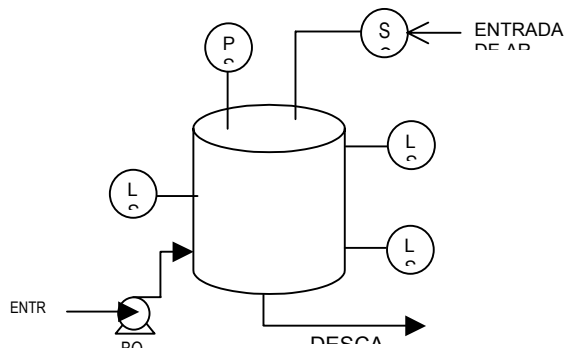



Fig.5.5. Controle automático de tanque de água pressurizado

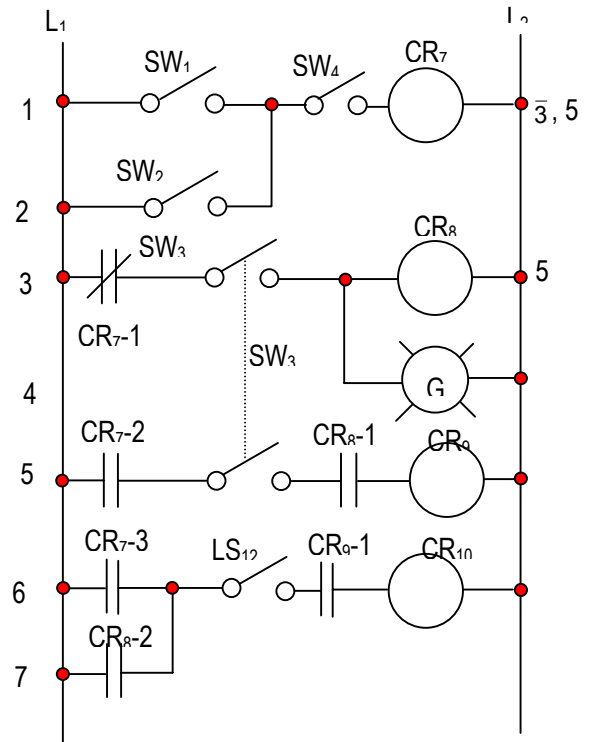



Fig.5. 5. Diagrama ladder completo

Diagrama errado

O diagrama da Fig. 5.4 é um diagrama ladder **incorreto**, que contem os mesmos componentes da figura, porém, nunca irá funcionar. Os erros são os seguintes:

1. Mesmo que houvesse potência entre as linhas, a voltagem aplicada em cada elemento de saída seria dividida por 3 e nenhuma bobina teria a tensão correta de funcionamento e a lâmpada piloto ficaria só um pouco acesa. Mas, logicamente, as saídas nunca seriam ligadas.
2. Mesmo fechando todas as chaves, o contato CR_7-1 ficaria sempre aberto. Para fechar o contato CR_7-1 a bobina CR_7 deve ser energizada e a bobina só seria energizada fechando-se CR_7-1, que é impossível.

5.5. Desenvolvimento

Pode-se avaliar a utilidade do diagrama ladder vendo um exemplo e ligando-o a um processo lógico seqüencial. O processo consiste de um tanque de armazenagem de produto (p.ex., água), um tanque de pressão, uma bomba, e um conjunto de dispositivos pilotos (pressostatos e chaves de nível) para fornecer o controle do processo.

O diagrama ladder do sistema indica que o circuito de controle possui dois modos de operação: automático e manual. O controle manual é executado pela chave (*push-button*) liga-desliga (*stop-start*) junto com o dispositivo de segurança de sobrecarga da bomba.

Para o processo partir e operar, a chave PARADA deve estar inativa (fechada) e a chave PARTIDA deve estar pressionada. Os contatos NA que são ativados quando o relé da bomba contatos é energizado permitem a bomba ficar ligada, depois que se alivia a chave PARTIDA.

O controle automático é mais complexo. O desenho mostra que há uma monitoração do nível baixo, nível alto e pressão baixa do tanque de pressão, e de nível baixo do tanque de armazenagem. A bomba pode ser energizada somente quando as exigências de controle sejam satisfeitas e a ligação entre L1 para L2 através do relé de partida da bomba seja feita.

A parte automática do circuito de controle da água é mostrada na metade superior do diagrama ladder. No desenvolvimento deste diagrama, a ligação elétrica entre L1 e L2 foi criada com os símbolos do elemento de controle intercalado. A chave de parada é geralmente colocada próxima de L1 antes de colocar qualquer outra linha no diagrama. O sensor de pressão alta (LSH 101) possui dois conjuntos de contatos: um normalmente aberto para o controle da operação do solenóide de ar e um normalmente fechado para permitir a operação da bomba. A operação da bomba é também governada pelos sensores de nível baixo no tanque de pressão e de nível baixo no tanque de armazenagem, ou seja, LSL 102 e LSL 103. Os símbolos destes elementos devem ser colocados no desenho indicando que a bobina da partida da bomba é energizada quando o nível de água for baixo no tanque de pressão mas deve ser desligada pelo nível baixo do tanque de armazenagem. Esta exigência, que evita estrago na bomba por causa de nível baixo de água no tanque de armazenagem e garante uma pressão estável no tanque de pressão, é satisfeita pela colocação de LSL 103 e LSL 102 em série com a partida e os contatos normalmente fechados de LSH 101. Para garantir que a bomba fique ligada, quando LSL 102 for energizada momentaneamente, coloca-se um retentor com o conjunto de contatos do relé da bomba (contato M em paralelo).

Estes símbolos de elemento de controle do nívele da bomba são apresentados na porção intermédiaria do diagrama ladder do sistema de água. A chave de seleção do modo de operação é colocada próxima do relé de partida. Os contatos normalmente fechados de LSL 103 e LSH 101 são colocados em série com os contatos normalmente abertos LSL 102. Como com a chave de partida na porção manual do desenho, um conjunto de contatos de relé de partida normalmente aberto é colocado em paralelo com LSL 102 para garantir que o relé de partida permaneça energizado quando o nível do liquido suba acima do nível mínimo e permaneça abaixo do nível máxima do tanque de pressão. LSL 101 também controla o estado do relé e desliga o relé quando o nível d'água do tanque de pressão atinja o valor máximo. O nível alto do tanque de pressão ativa os contatos normalmente abertos LSH 101, que permite o solenóide de entrada de ar ser energizada (desde que PSL 103 indique que a pressão do tanque esteja abaixo do ajuste desejado).

O método de se desenvolver um diagrama ladder para um sistema consiste em

1. rever as funções de controle requeridas no circuito,
2. selecionar os elementos de controle que desempenham esta tarefa,
3. arranjar os símbolos para as condições impostas pelo controle de modo seqüencial, entre as linhas da tensão de alimentação.

Quando necessário,

4. fornecer contatos de intertravamento ou retenção em volta dos contatos momentâneos de chave botoeira.

Os botões de desligamento e outros intertravamentos de segurança devem ser arranjados de modo que eles sejam eletricamente fechados para a linha de tensão de alimentação. Cada componente do desenho deve ter uma etiqueta de modo que seja facilmente associado com o dispositivo real do processo.

Deve-se ter o cuidado de identificar todos os contatos de uma bobina de relé especifica. Finalmente, as condições normalmente aberta ou fechada de todos os contatos automáticos devem sempre ser indicados quando elas estiverem no estado inativo ou sem uso.

5.6. Análise

O procedimento básico para a análise de um diagrama ladder de um circuito de controle é considerar um componente por vez e decidir o que ocorre se uma chave push button é acionada ou contato é ligado ou desligado. Se o diagrama é analisado deste modo, com a observação que a mudança do contato geralmente fecha ou abre circuitos completos de uma linha de tensão através de uma bobina de relé. Esta bobina é energizada ou desenergizada, dependendo da continuidade do circuito. Quando um circuito é fechado para uma bobina particular, seu contador, relé, starter é energizado e seus contatos mudam suas posições normais. Se os contatos são normalmente fechados, se abrem e se os contatos são normalmente abertos, eles agora ficam fechados. Quando um relé temporizado (de atraso) é usado no circuito, seus contatos mudam de estado depois de um determinado tempo. Quando se usam reles, é importante considerar cada contato que é operado pelo relé, sempre que sua bobina for energizada. Quando não se consideram todos os contatos de um relé, comete-se um erro conceitual da função do circuito. Finalmente, quando se avalia um circuito, deve-se estar certo que cada componente está sendo considerado em sua posição normal e na posição energizada, de modo que se possa compreender o circuito completo.

Seja o diagrama ladder para um circuito de freio dinâmico de um motor. Este sistema pode ser aplicado a qualquer equipamento, quando se quer uma parada rápida, suave ou quando se deseja ter um eixo do motor livre de rotação manual quando se desliga a alimentação. Um sistema de freio dinâmico fornece uma parada sem qualquer tendência para reverter e produz menos choque aos componentes de acionamento do motor do que outros métodos.

O sistema de freio dinâmico usa voltagem cc para fornecer uma ação de freio suave mas positiva e para fazer o motor parar rapidamente. O sinal cc deve ser removido quando o motor estiver quase parando, para evitar qualquer dano aos enrolamentos causado por superaquecimento, como resultado da corrente excessiva nos enrolamentos de baixa resistência.

Esta tensão cc é obtida da retificação da tensão ca, através de uma ponte retificadora. Dois contatos normalmente abertos (B) isolam o retificador dos terminais T1 e T3 do motor.

Há também dois contatos normalmente abertos da mesma bobina do freio (B) que isolam o primário do transformador das duas linhas L1 e L2. O quinto contato da bobina do freio (B), normalmente fechado, está em série com a bobina do relé de acionamento do motor e com a chave de partida. Quando a bobina de freio estiver acionada (energizada) não se consegue partir o motor.

Se a chave de partida é acionada, se os contatos de sobrecarga estão fechados e se a chave P.B. estiver fechada, a bobina de acionamento do motor é energizada e todos os cinco contatos (B) são ativados. O primeiro contato do relé (M1), NA, fecha, garantindo a continuidade do circuito, mesmo quando se solta a chave de partida (contato retentivo).

O segundo contato, M2, NF, abre, impedindo que a bobina de freio seja ativada e receba o sinal da linha L1. Depois de transcorrido um determinado tempo o contato T também fecha o circuito, pois sua bobina (T) também foi energizada, juntamente com a bobina do motor (M). Os últimos três contatos, M3, M4 e M5, normalmente abertos, se fecham, energizando os enrolamentos do motor T1, T2 e T3.

O sistema de freio inclui o relé de breque (B), o relé temporizado (T), o retificador ca/cc, o transformador com secundário/primário e cinco contatos do relé de breque (B). Os terminais T1 e T3 do motor estão alimentados pela tensão cc, pelos contatos B. Quando se aperta a chave parada, o relé do motor (M) é desenergizado, o motor é isolado da tensão ca, pelos contatos M4, M5 e M3 que ficam abertos. O relé temporizado é desligado e o seu contato T fecha. Como M2 já estava fechado, T fechado, a bobina de breque (B) é energizada e todos seus contatos mudam de estado. Ou seja, todos os contatos B (exceto B1) ficam fechados

B2 e B3 ligam o transformador e, como conseqüência, produzem tensão cc retificada do transformador. Os contatos B4 e B5 ligam a tensão cc aos terminais T1 e T3 do motor. Depois de transcorrido o tempo de atraso, ajustável e função do motor, a bobina T abre o contato T que desliga a bobina de freio B.

Em resumo, o procedimento básico para analisar o diagrama ladder envolve

a consideração de cada componente do circuito por vez para decidir o que acontece com este componente quando um contato é fechado,

a determinação da função de cada componente em suas posições normal e energizada

a função de cada componente em relação aos outros elementos do diagrama.

É importante fazer uma análise completa do diagrama sem pular para conclusões parciais. Uma análise apressada e incompleta é usualmente desastrosa, porque a consideração de apenas um contato adicional pode mudar totalmente a natureza básica do circuito.

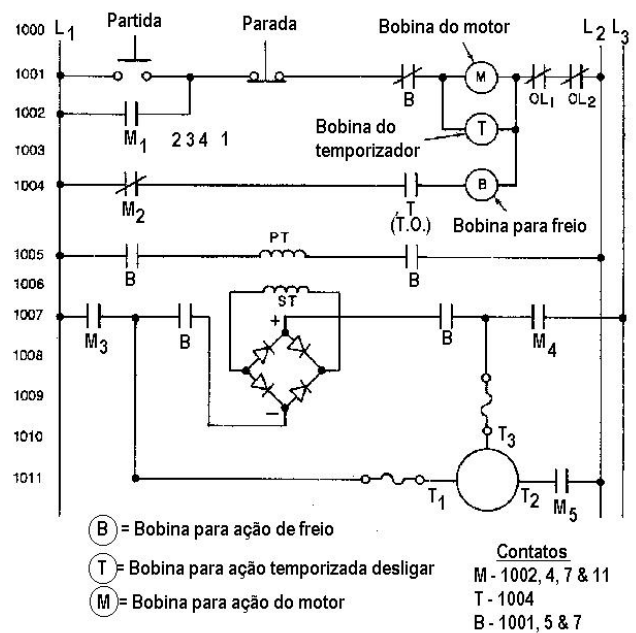



Fig. 5.8. Diagrama ladder do freio do motor

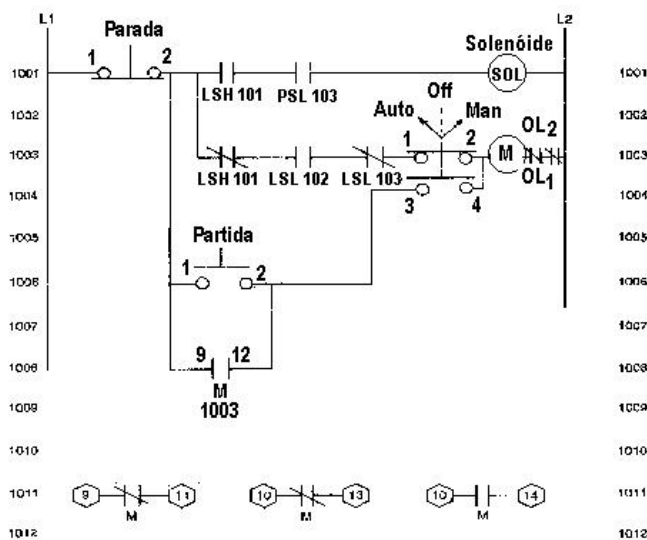



Fig. 5.7. Diagrama ladder correspondente ao controle do tanque de água pressurizado

Aplicações de Diagrama Ladder

1. Alarme de Alta Pressão

1.1. Descrição

O circuito faz soar uma buzina e acender uma lâmpada piloto quando a pressão atingir um valor alto perigoso. Depois que o alarme soa, o botão ACKN (conhecimento) desliga a buzina e deixa a lâmpada acesa. Quando a pressão baixar para um valor seguro, a lâmpada se apaga

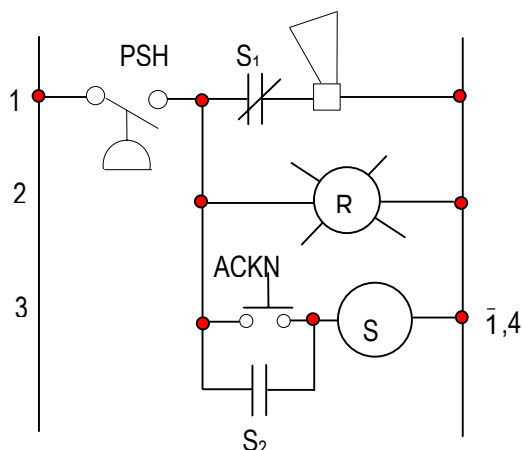
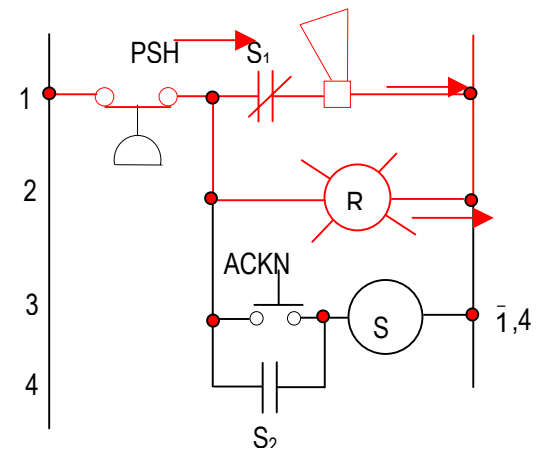
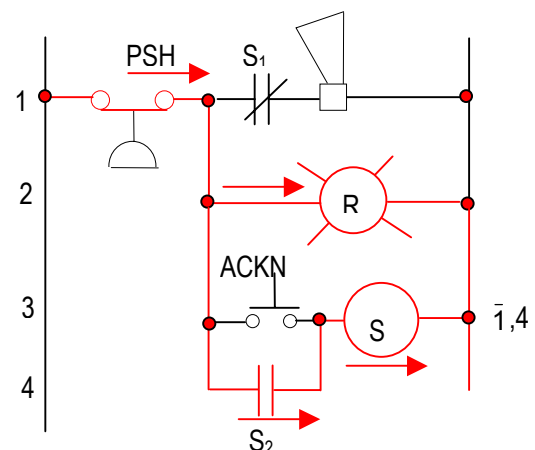
1.2. Solução

Quando a pressão atinge valor alto perigoso, a chave PS atua, fechando o circuito e

1. soando a buzina
2. acendendo lâmpada R

Quando operador toma conhecimento do alarme e aperta a chave ACKN, a bobina S se energiza, trocando seus contatos S_1 e S_2

1. S1 abre, desligando a buzina
2. S_2 fecha, mantendo bobina S energizada

A bobina S só é desligada quando a chave PS abrir, ou seja, quando a pressão alta cair e ficar em valor seguro.

Condição normal: pressão não alta, PSH aberta, buzina calada, lâmpada apagada

Condição anormal: pressão alta, PSH fechada, buzina toca, lâmpada acende

Depois de apertada a chave ACKN, S2 (selo) se mantém ligada, lâmpada acesa e S1 abre e a buzina se cala.

2. Controle de Bomba e duas lâmpadas piloto com chave de nível

2.1. Descrição

A chave de nível opera o starter do motor da bomba. A bomba enche um tanque com água. Enquanto o nível do tanque receptor estiver baixo, a chave liga o motor da bomba e acende a lâmpada R. Quando o nível atingir o nível máximo (tanque cheio), a chave desliga o motor e a lâmpada R e acende a lâmpada A. Se o motor se sobrecarregar, o motor é desligado, mas a lâmpada R contínua acesa.

2.2. Solução

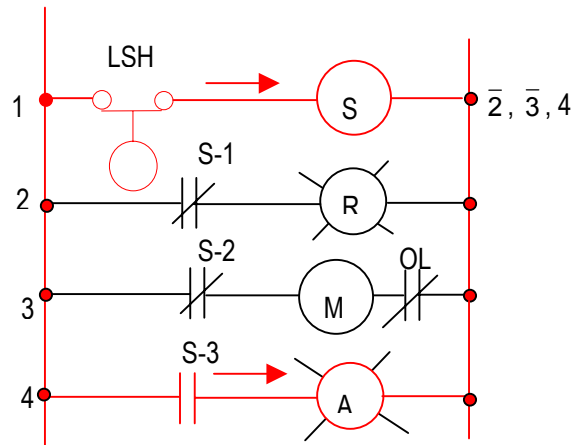
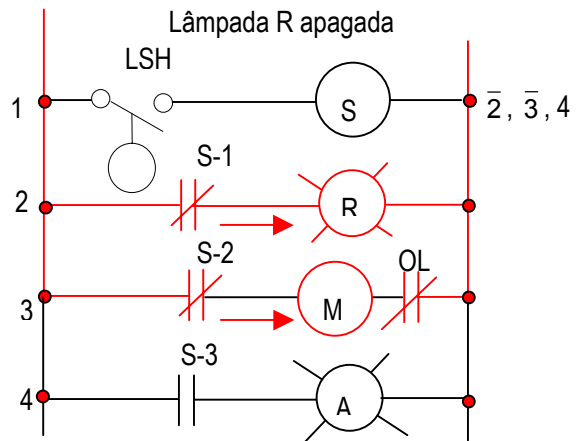
Quando o nível estiver abaixo do máximo (normal), a chave LSH está aberta e

1. lâmpada R está acesa
2. motor está ligado, operando
3. lâmpada A está apagada

Quando o nível atingir o máximo, LSH fecha

1. apagando R
2. desligando motor M
3. acendendo A

Quando motor ficar sobrecarregado,

1. OL abre
2. desligando motor e
3. mantendo R acesa

Nível alto: LSH fechada
Motor M desligado
Lâmpada R apagada

Nível baixo: LSH aberta
Motor M ligado
Lâmpada R acesa

3. Controle seqüencial de 3 motores

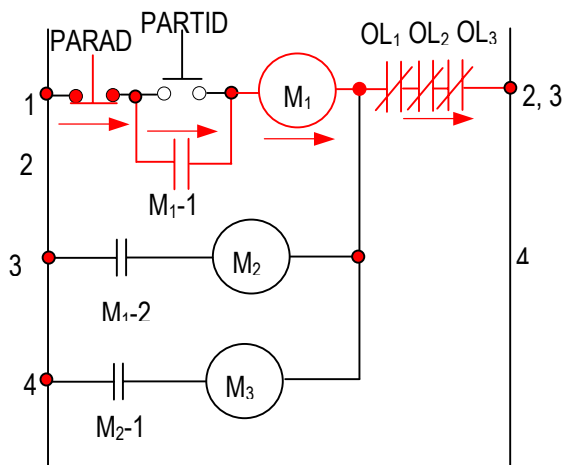
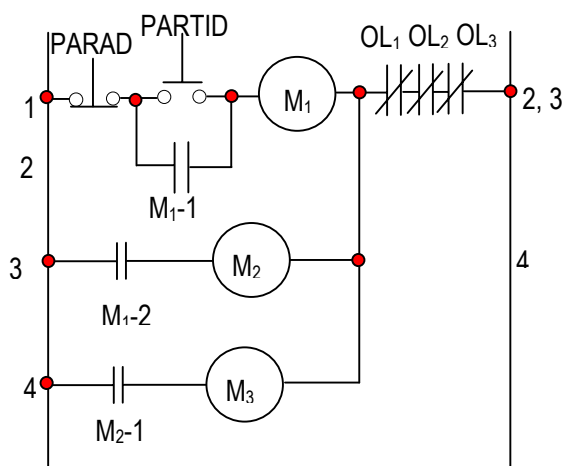
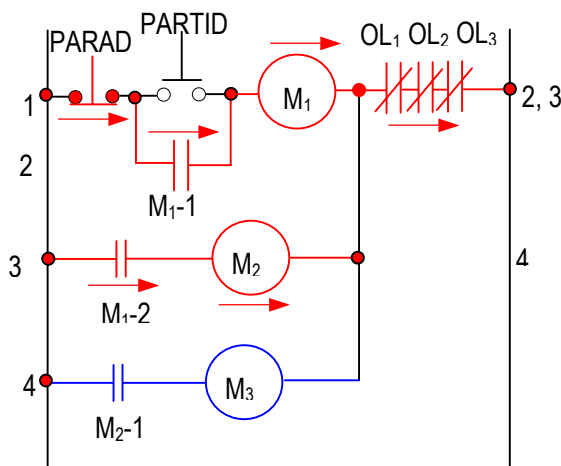
3.1. Descrição

Ligar três motores, isoladamente e um após o outro. A parada desliga todos os motores. Qualquer sobrecarga desliga todos os motores

3.2. Solução

Apertando a botoeira PARTIDA

1. M_1 parte e fecha M_1-1 e M_1-2
2. M_1-1 sela a partida de M_1, mantendo M1 ligado depois que a botoeira PARTIDA for solta
3. M_1-2 liga M_2, fechando M_2-1
4. M_2-1 liga M_3

Qualquer sobrecarga em M_1, M_2 ou M_3 desliga todos os três motores, pois OL_1, OL_2 e OL_3 são contatos NF e estão em série

Quando se aperta a chave PARTIDA,
M1 parte e sela M1-1

Contatos auxiliares (ou intertravamentos) para controle de seqüência automática:
Contato M1 energiza bobina M2
Contato M2 energiza bobina M3

Depois que M1 parte,
M1-2 fecha e parte M2
Depois que M2 parte,
M2-1 fecha e parte M3

4. Controle temporizado de motores

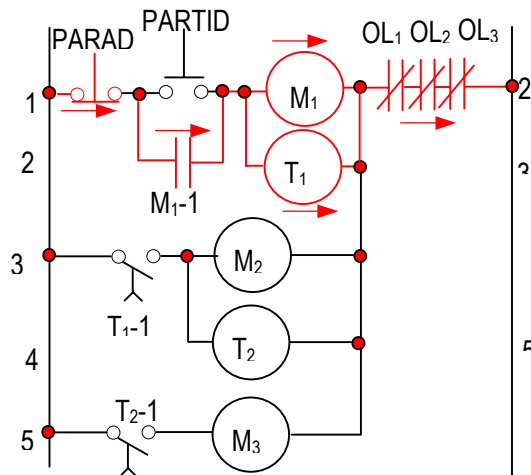
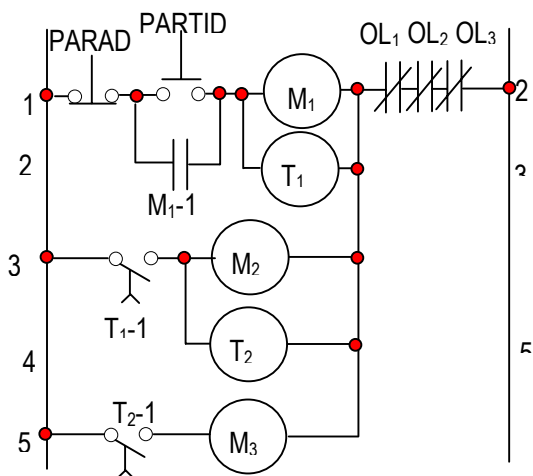
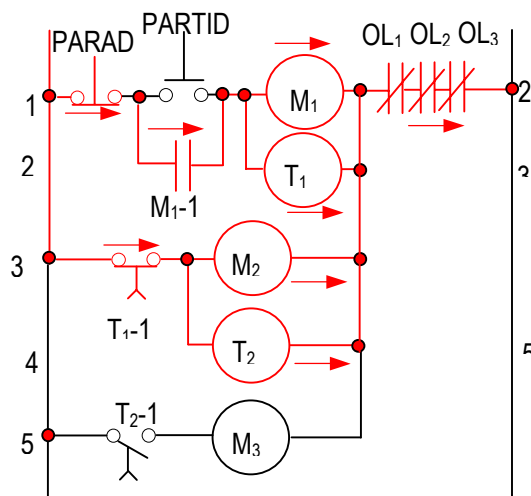
4.1. Descrição

Ligar três motores, isoladamente e um após o outro, com intervalos de 1 minuto. A parada desliga todos os motores. Qualquer sobrecarga desliga todos os motores

4.2. Solução

Apertando a botoeira PARTIDA

5. M_1 parte e energiza T_1
6. M_1-1 sela a partida de M_1, mantendo M_1 ligado depois que botoeira PARTIDA é solta
7. T_1 energizado fecha T_1-1 depois de 1 min
8. T_1-1 parte M_2 e energiza T2, que fecha T_2-1 depois de 1 min
9. T_2-1 parte M_3

Qualquer sobrecarga em M_1, M_2 ou M_3 desliga todos os três motores, pois OL_1, OL_2 e OL_3 são contatos NF e estão em série

Assim que se aperta PARTIDA,
M1-1 sela e M1 permanece operando
T1 é energizada

Depois de um intervalo de tempo,
T1-1 fecha, partindo M2 e energizando T2
Depois de um intervalo de tempo,
T2-1 fecha, partindo M3

5. Controle seqüencial temporizado de motores

5.1. Descrição

Três motores

1. M_1 – motor bomba de lubrificação
2. M_2 – motor principal
3. M_3 – motor de alimentação

devem ser ligados em seqüência e em intervalos de tempo determinados.

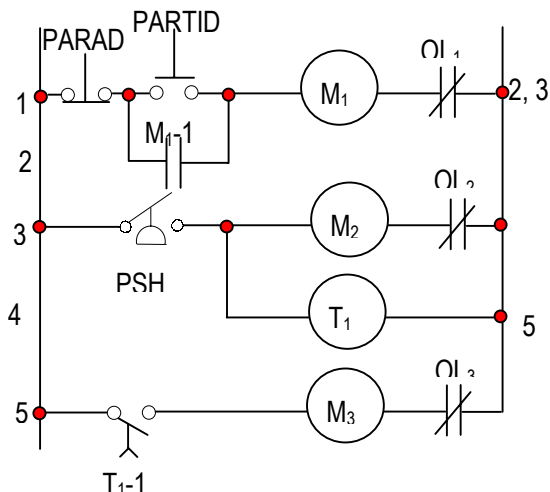
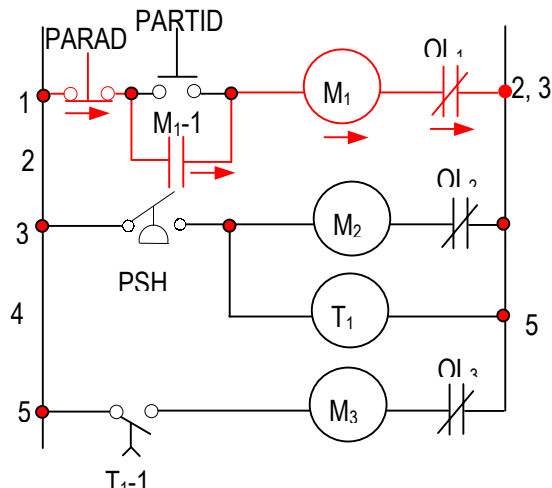
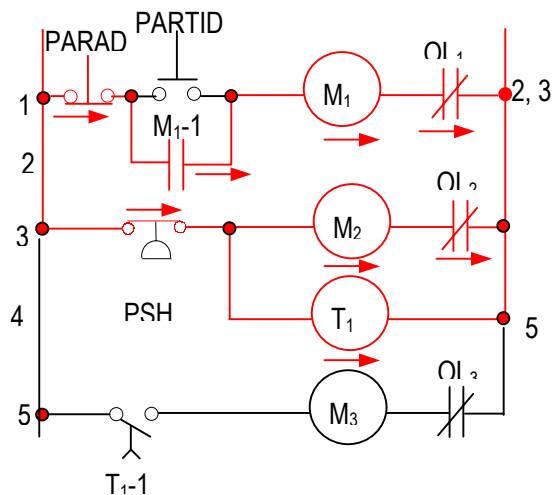
5.2. Solução

Apertando a botoeira PARTIDA

1. M_1 parte e M_1-1 sela a partida de M_1.
2. A bomba faz a pressão subir e a alta pressão faz chave PSH fechar e partir M_2 e energizar T_1.
3. T_1 energizado fecha T_1-1 depois de 10 s, partindo M_3

Se M_1 aquecer, OL_1, abre, desligando M_1 e a pressão cai.

A queda de pressão faz PSH abrir, desligando M_2 e desenergizando T_1.

Quanto T1 é desenergizada, T-1 abre, desligando M_3

Dispositivos piloto usados em controle de seqüência automática

Quando se aperta PARTIDA, M1 parte e M1-1 sela seu funcionamento

A operação de M1 faz a pressão subir.

Quando a pressão sobe,

PSH fecha

M2 parte

T1 é energizado

Depois de um determinado intervalo,

T1-1 fecha

6. Controle de Velocidade de motores

6.1. Descrição

1. O motor tem três faixas de velocidades.
2. O motor acelera automaticamente para a velocidade selecionada.
3. Uma botoeira pode parar o motor em qualquer velocidade
4. O motor possui proteção de sobrecarga
5. Três botoeiras separadas selecionam 1ª, 2ª e 3ª velocidade.
6. Há um atraso de 3 segundos para passar de uma velocidade para outra

6.2. Solução

Apertando a botoeira 1ª VELOCIDADE

1. M_1 parte e M_1-1 sela a partida de M_1, mantendo-o na primeira velocidade depois que a chave PARTIDA é solta.
2. Quando a chave 2ª VELOCIDADE for apertada,

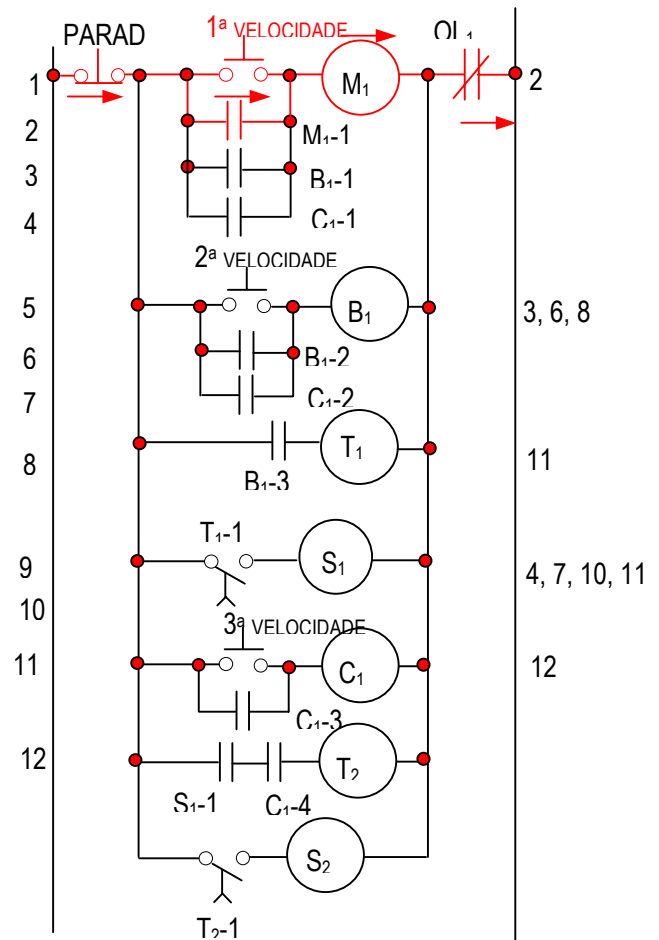
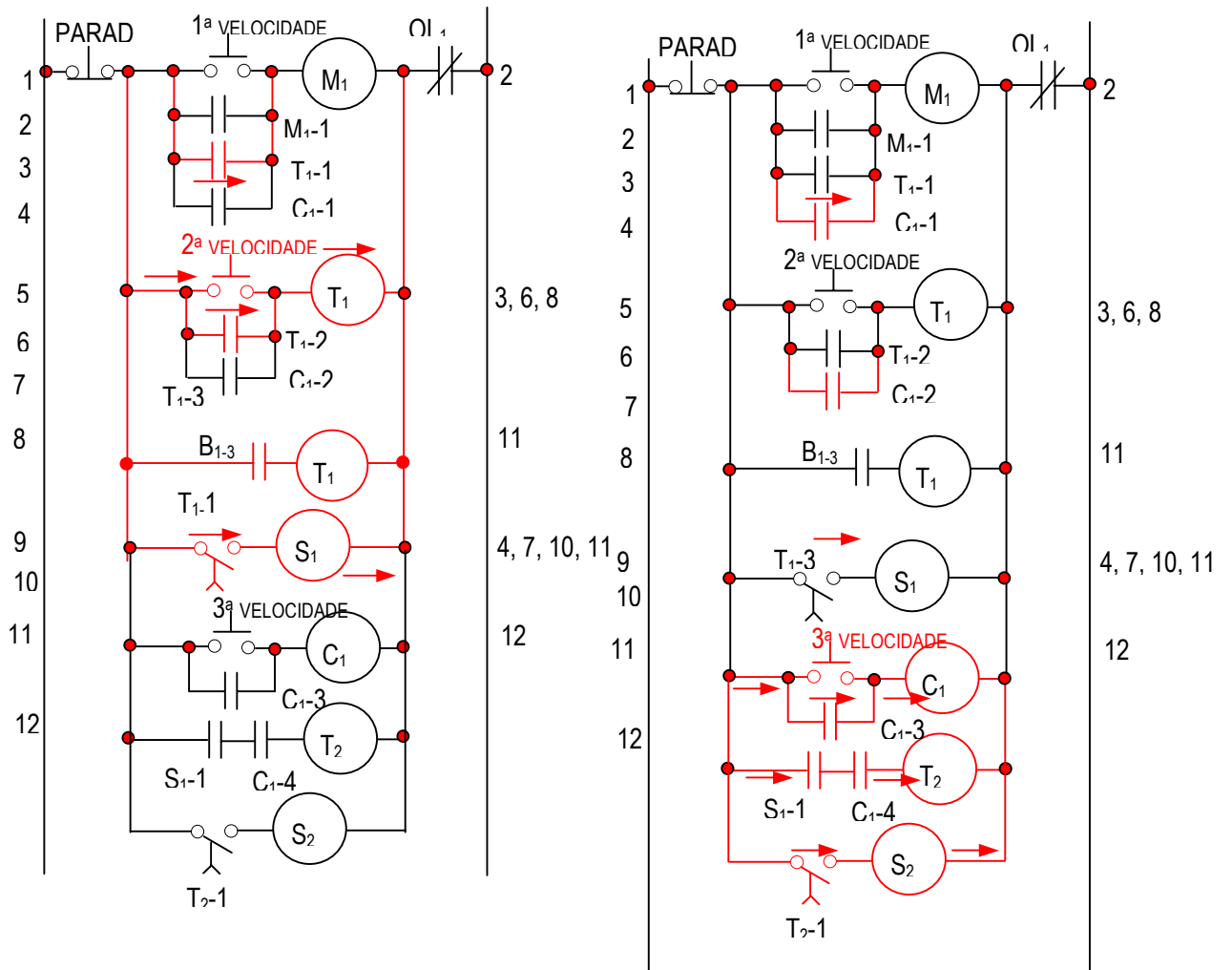
- T_1 fica energizado (Atraso para Ligar)
- B_1 –1 faz motor girar na 1ª velocidade
- B_1 –2 mantém B_1 selado

3. Depois de 3 segundos, T_1 –1 fecha, ligando S_1. S_1 faz motor operar na 2ª velocidade
4. Quando a botoeira 3ª VELOCIDADE for apertada,

- C1 fica energizado
- C_1 –1 faz motor girar na 1ª velocidade
- C_1 –2 faz motor girar na 2ª velocidade
- C_1 –3 faz motor girar na 3ª velocidade
- C_1 –4 faz operar T2 (falta S_1 –1 fechar)

Depois de 3 segundos, T3 fecha e energiza S_1 (motor fica na 2ª velocidade).

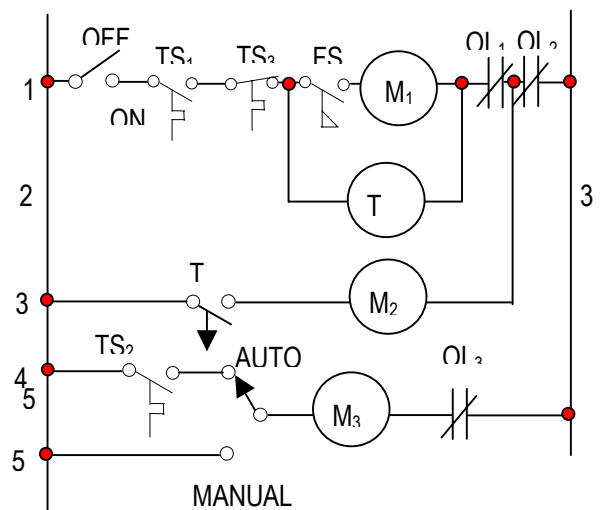
S_1 –1 fecha operando T2. Depois de 3 segundos T_2 fecha e opera S_2 , que coloca o motor na 3ª velocidade.

Quando houver sobrecarga, OL_1, abre, desligando M_1.

7. Unidade de Aquecimento de Óleo

7.1. Descrição

- Motor M_1 opera uma bomba de alta pressão, que injeta óleo em um queimador.
- Motor M_2 opera um soprador de indução que força o ar para o queimador, quando o óleo estiver sendo queimado.
- Chave liga-desliga comanda o circuito
- Termostato TS_1 sente a temperatura do interior do ambiente
- Termostato TS_2 sente a temperatura do trocador de calor.
- Quando a chave estiver ligada (ON) e a temperatura interna do ambiente for baixa, TS_1 fecha e parte os motores M_1 e M_2.
- Quando a temperatura do trocador de calor subir demais, TS_2 fecha e parte M_3. O soprador circula o ar dentro do ambiente através do trocador e aumenta a temperatura dentro do ambiente.
- Quando a temperatura do ambiente subir muito, TS_1 abre e desliga o motor da bomba e o motor do soprador de indução. O soprador do trocador contínua operando até que o trocador de calor seja resfriado a uma temperatura baixa, quando TS_3 abre.

7.2. Solução

1. Ligando a chave para ON e se a temperatura do ambiente estiver baixa, TS_1 fecha, fechando TS_1 e energizando T e M_1 .
2. O temporizador é TOFF (atraso para desligar), então T_1 fecha imediatamente, partindo M_2. Se T ficar desenergizado, depois de 1 min e se abre, desligando M_2
3. FSL_1 é uma chave de vazão que sente a vazão de ar produzida pelo soprador de indução e impede que o motor da bomba de alta pressão continue injetando óleo na câmara de combustão.
4. M_2 ligado faz FSL_1 fechar, partindo M_1 e permitindo a partido do motor da bomba de alta pressão. Se o motor do soprador de ar pára por qualquer razão, FSL_1 abre M_1 .
5. A chave seletora AUTO MANUAL permite ao operador decidir a circulação de ar dentro do ambiente quando o sistema de aquecimento estiver fora de serviço. Quando a chave estiver em AUTO, o motor do soprador é controlado pelo termostato TS_2 . Quando a chave estiver em MANUAL, ela liga o motor M_3 diretamente e permite o motor do soprador operar independente do sistema de aquecimento.

M_1 Motor da bomba de injeção de óleo combustível no queimador
M_2 Motor do soprador de indução de ar combustível no queimador
M_3 Motor do soprador de ar através do trocador

TS_1L	Chave de ligamento Temperatura ambiente baixa, fechada Temperatura ambiente alta, aberta
TS_2H	Chave de ligamento Temperatura do trocador alta, fechada Temperatura do trocador baixa, aberta
TS_3H	Chave de desligamento Temperatura do trocador baixa, aberta Temperatura do trocador alta, fechada
FSH	Vazão de ar alta, fechada Vazão de ar baixa, aberta

8. Enchimento, Mistura e Esvaziamento de Tanque

8.1. Descrição

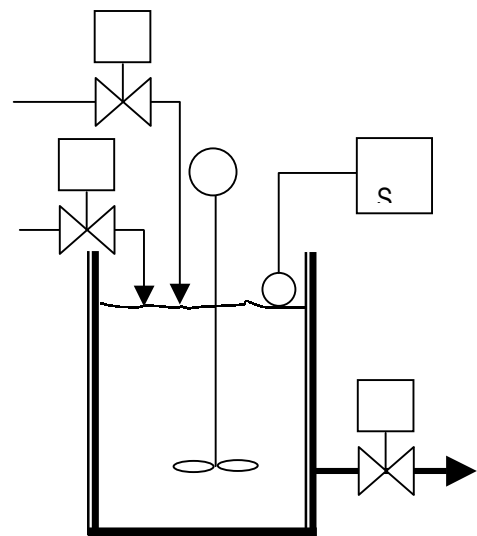
O funcionamento do sistema é o seguinte:

1. Apertando PARTIDA, os solenóides A e B abrem, permitindo o tanque se encher
2. Quando o tanque encher, uma chave de nível tipo bóia desliga A e B e liga um motor M de agitação da mistura do tanque
3. O motor trabalha em determinado intervalo de tempo ajustável, T. Depois de transcorrido T, o motor desliga e um solenóide C, na saída do tanque, é ligado esvaziando o tanque.
4. Quando o tanque ficar vazio, a chave de nível desliga o solenóide C e o ciclo recomeça.
5. Um relé térmico desliga o motor em caso de sobrecarga.

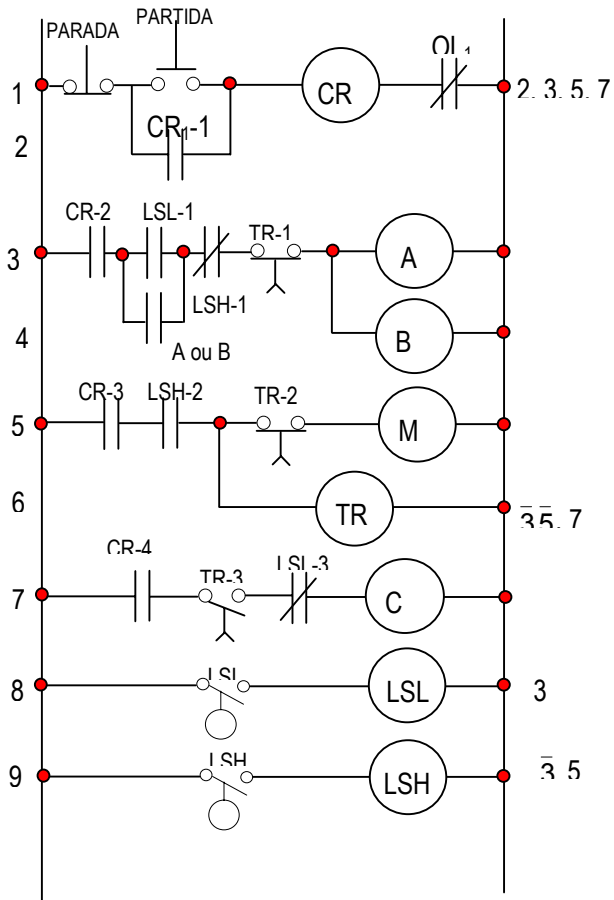
8.2. Solução

Apertando a botoeira PARTIDA

1. CR energiza
   CR-1 sela a partida, mantendo motor funcionando depois de soltada a botoeira
   CR-2 permite os solenóides A e B serem ligadas
   CR-3 permite o motor M ligar e o temporizador TR energizar (satisfeitas outras condições)
   CR-4 permite o solenóide C ser ligada
2. Com CR-1 fechado (PARTIDA acionada),
   LSH-1 fechado (nível do tanque abaixo do máximo)
   LSL-1 fechado (nível do tanque no mínimo)
   TR-1 fechado (agitação ainda não ligada)
   Solenóides A e B se energizam e as válvulas A e B enchem o tanque
3. Tanque atinge nível máximo, LSH tripa
   LSH-1 abre, desligando solenóides A e B
   LSH-2 fecha, ligando o motor de agitação e energizando o temporizador TR
4. O motor do agitador mistura os líquidos A e B durante 1 minuto
5. Depois de 1 minuto
   TR-2 abre, desligando o motor M
   TR-1 abre, impedindo que os solenóides A e B sejam ligadas neste momento (interlock)
   TR-3 fecha, ligando o solenóide C que esvazia o tanque
6. Quando o tanque fica vazio, LSL tripa
   LSL-1 fecha, permitindo ligação dos solenóides A e B
   LSL-2 abre, desligando o solenóide C
7. O ciclo se repete e os solenóides A e B são energizadas, pois
   CR-2 está fechado
   LSH-1 fechado (nível abaixo do máximo)
   LSL-1 fechado (nível mínimo já atingido)
   TR-1 fechado (temporizador desligado)

8.3. Esquema do Processo

A Enche tanque com A
B Enche tanque com B
M Motor do agitador
C Esvazia o tanque

LSL	Nível baixo, fechada Nível alto, aberta
LSH	Nível baixo, aberta Nível alto, fechada

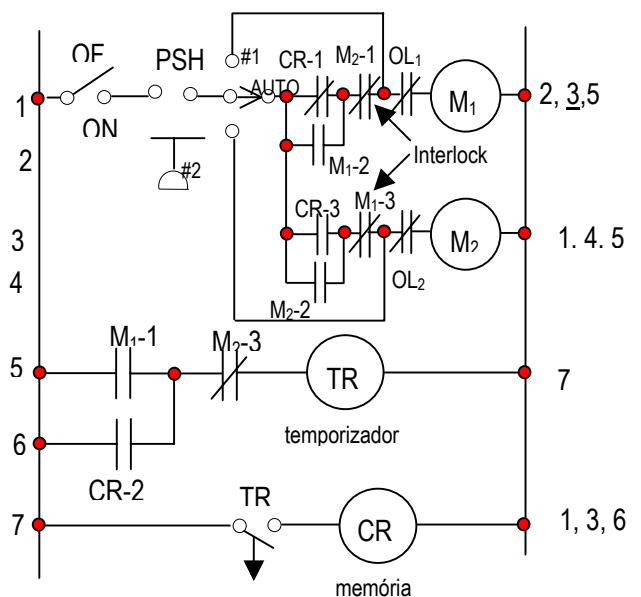
8.4. Diagrama Ladder

9. Enchimento de Tanque com Duas Bombas Alternadas

9.1. Descrição

A água de alimentação é fornecida de um tanque central. O tanque é pressurizado pela água quando o tanque se enche. Dois poços separados fornecem água para o tanque, cada poço com uma bomba independente. É desejável que a água seja bombeada de cada poço igualmente, mas as duas bombas não devem operar ao mesmo tempo. As bombas devem operar alternadamente, mas uma chave seletora pode forçar a operação de uma bomba quando a outra estiver com falha. Cada motor da bomba contém um relé térmico de sobrecarga.

9.2. Solução

Assumindo a chave em AUTO e o pressostato fechado (há pressão de coluna d'água no tanque), apertando a chave ON

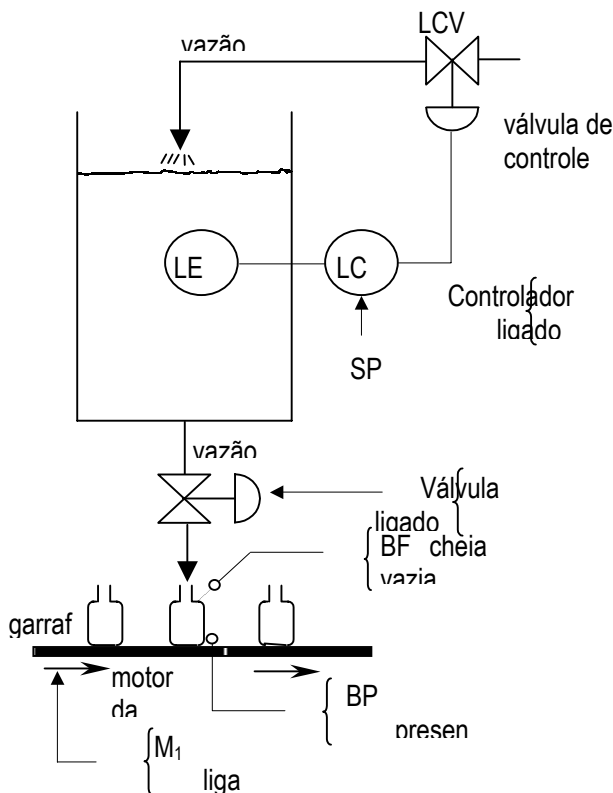
1. energiza a bobina do starter de M_1
   M_1-1 fecha, energizando CR
   M_1-2 sela a partida do motor M_1
   M_1-3 abre, fazendo o intertravamento com o motor M_2 (M_2 não funciona enquanto M_1 estiver funcionando)
2. CR energizado, todos seus contatos mudam:
   CR-1 abre, quebrando o circuito para bobina M_1
   CR-2 fecha, selando o contato M_1-1
   CR-3 fecha para permitir ligação de M_2 , que ainda não pode ser ligado pois M_1-3 está aberto
3. Quando o pressostato PS abre, a bobina M_1 desenergizar, permitindo todos os contatos M_1 retornarem às posições normais. Neste momento, o relé CR está energizado.
4. Quando o pressostato PS fecha novamente, o contato CR-1 evita que a bobina M_1 seja energizada e CR-3 permite que a bobina M_2 seja energizada. Quando a bobina M_2 é energizada, a bomba 2 parte e todos os contatos M_2 mudam de estado
   - M_2-1 abre e desenergiza CR
   - M_2-2 fecha e mantém M_1 energizada quando CR-3 abrir
   - M_2-3 abre para evitar que a bobina M_1 seja energizada quando o contato CR-1 voltar à sua posição normalmente fechada.
5. O circuito continua operando assim, até que o pressostato PS abra e desligue M_2. Quando isso acontecer, todos os contatos de M_2 mudam de estado.
6. Uma chave seletora de três posições na saída do pressostato permite ao operador alternar a operação das duas bombas ou operar a desejada (1 ou 2).
7. Embora a lógica já esteja completa, há um problema potencial: depois que a bomba 1 completou um ciclo, há a possibilidade do contato CR-3 reabrir antes que o contato M_2-2 feche para selar o circuito. Se isto acontecer, a bobina M_2 será desenergizada e a bobina M_1 será energizada (isto depende da operação dos relés). Para evitar este problema, adiciona-se um temporizador TOFF (off delay – atrasado para desligar). Quando a bobina TR for energizada, o contato TR-1 fecha imediatamente, energizando CR. Quando TR desenergiza, o contato TR-1 permanece fechado por um determinado tempo ajustável antes de reabrir, garantindo que a bobina CR está desenergizada.

10. Sistema de Enchimento de garrafa: controle contínuo e discreto

Fazer uma descrição da seqüência do evento para o sistema de enchimento de garrafas se movendo em uma esteira.

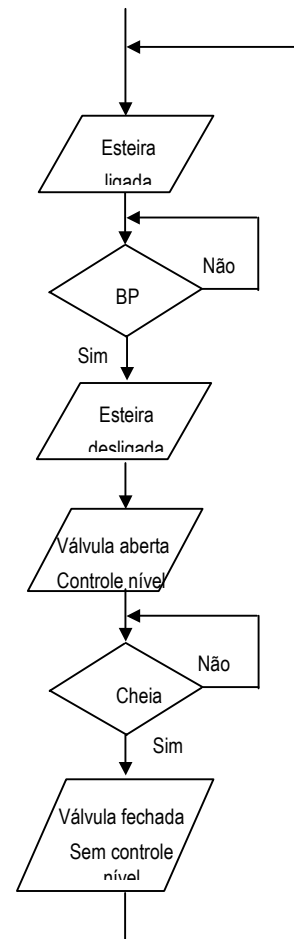
10.1. Descrição

Quando se dá um comando para parar o sistema de controle contínuo, a válvula de entrada vai para a posição fechada. A seqüência é a seguinte:

I. Inicialização (pré-enchimento do tanque)

A. Esteira parada, válvula de saída fechada
B. Partir o sistema de controle de nível
  1. Operar durante um tempo suficiente para atingir o ponto de ajuste ou
  2. Colocar outro sensor de modo que o sistema saiba quando o ponto de ajuste é atingido
C. Quando se atingir o nível, parar o controle de nível
D. Ir para a fase de **Operação**

Esquema do processo

II. Operação

A. Partir a esteira das garrafas
B. Quando a garrafa estiver na posição
  1. Parar a esteira
  2. Abrir a válvula de saída
  3. Ligar o sistema de controle de nível para manter o nível constante durante o enchimento da garrafa
C. Quando a garrafa estiver cheia
  1. Fechar a válvula de saída
  2. Parar o sistema de controle de nível
  D. Ir para a etapa II.A e repetir

Fluxograma (Flowchart)

10.2. Diagrama Ladder

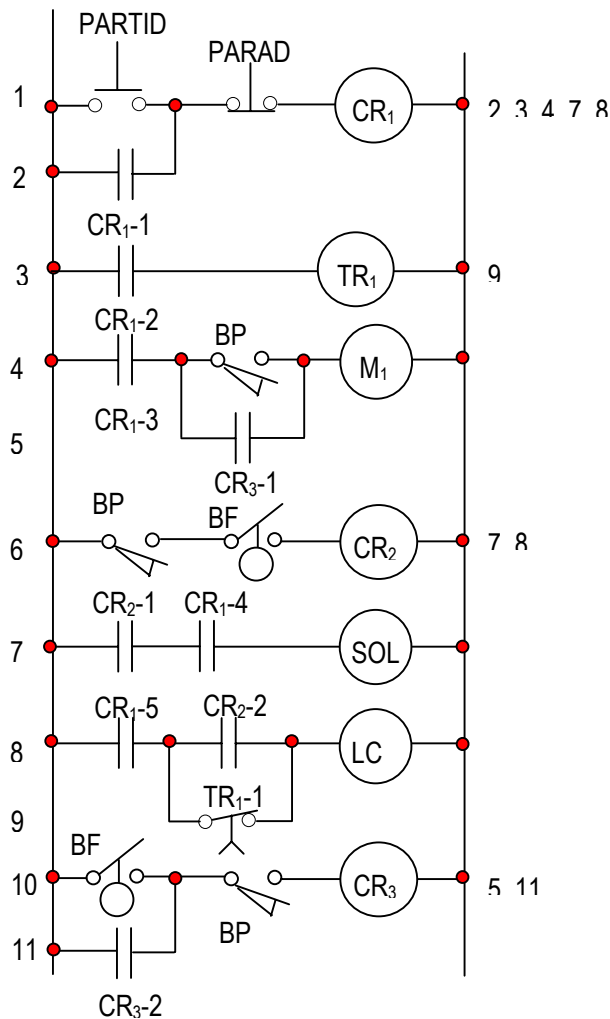
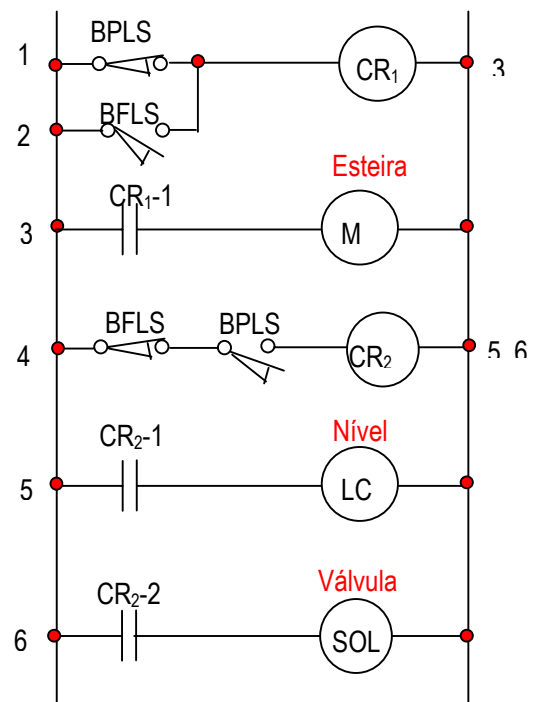



Fig. 1. Diagrama ladder para o sistema de controle de enchimento de garrafas

A inicialização é feita por um temporizador (TR_1) de 60 segundos, que liga o sistema de controle de nível por 1 minuto depois do botão partida. Ele nunca é energizado de novo durante a operação..

O motor M_1 aciona a esteira até uma garrafa ficar na posição correta, como indicado pela abertura da chave de posição (PB1). O relé CR_2 é usado para detectar a condição de cheia da garrafa, energizando CR_2. Os contatos de CR_2 energizam o solenóide da válvula e o sistema de controle de nível. CR_3 é necessário para detectar o enchimento da garrafa e para reiniciar a esteira até que a garrafa seja tirada da posição e a chave de presença da garrafa seja aberta. Ocorre uma operação continua entre as linhas 3 e 11.

10.3. Diagrama Ladder para a *Operação*

11. Sistema de Esteira

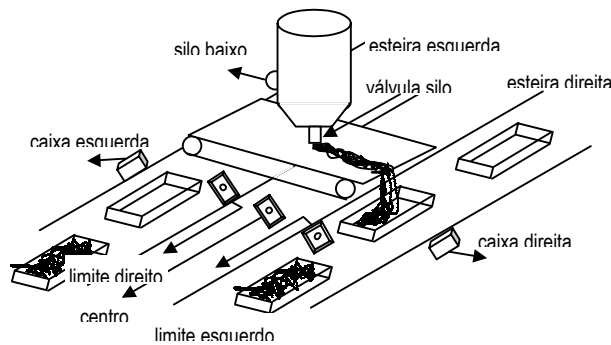



Fig.1. Representação pictural do equipamento do processo

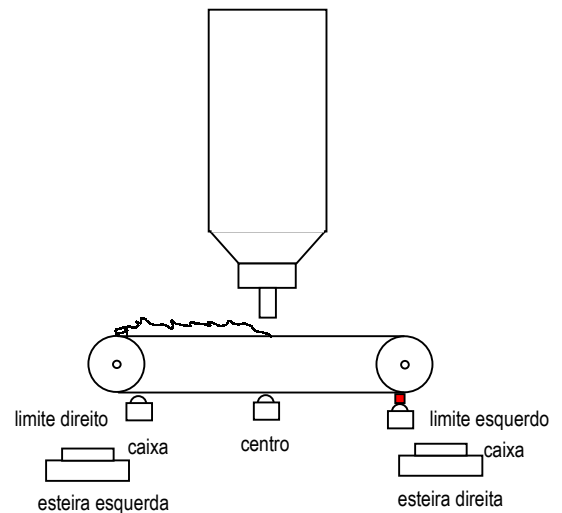



Fig. 2. Fim da fase de inicialização

11.1. Descrição

Fase de Inicialização

A. Todos os motores desligados, Válvula solenóide desligada
B. Teste da chave limite direita
    1. Se engajada, ir para C
    2. Se não, ajustar motor alimentação para movimento certo
    3. Ligar motor esteira alimentação
    4. Teste da chave limite direita
        a. Se engajada, ir para C
        b. Se não, ir para 4
C. Estabelecer motor alimentação para movimento esquerdo e iniciar
D. Teste da chave de centro
    1. Se engajada, ir para E
    2. Se não, ir para D
E. Abrir válvula alimentação do silo
F. Teste da chave limite esquerda
    1. Se engajada, ir para G
    2. Se não, ir para F
G. Todos os motores desligados, chave de alimentação do silo fechada.
H. Ir para fase de operação.

A finalização desta fase significa que a esteira de alimentação está posicionada no local limite esquerdo e a metade direita da esteira tem sido cheia do silo de alimentação. O sistema está em uma configuração conhecida, como mostrado na Fig. 2.

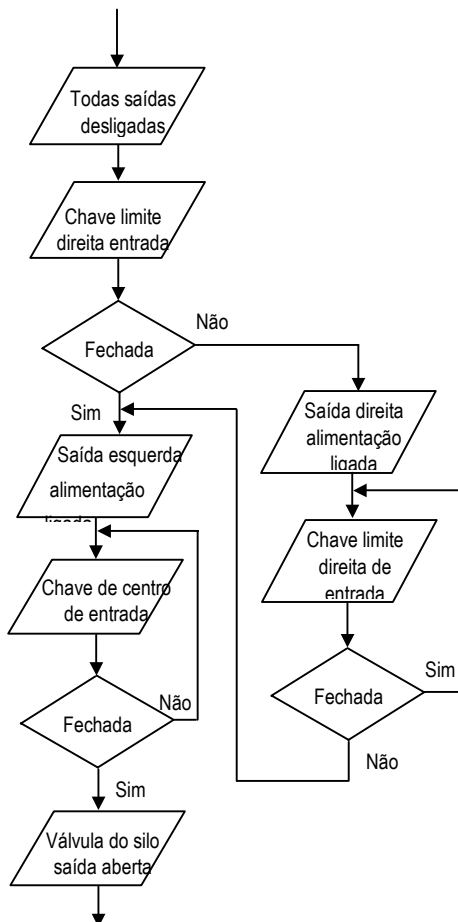
Fase de operação

A. Ligar esteira da caixa direita
B. Teste chave de presença de caixa direita
    1. Se presente, ir para C
    2. Se não, ir para B
C. Ligar motor da esteira de alimentação, movimento direito
D. Testar chave de centro
    1. Se engajada, ir para E
    2. Se não, ir para D
E. Abrir válvula do silo de alimentação
F. Testar chave limite direita
    1. Se engajada, ir para E
    2. Se não, ir para D
G. Fechar válvula do silo de alimentação, parar esteira de alimentação
H. Ligar esteira da caixa esquerda
I. Testar chave presença de caixa esquerda
    1. Se engajada, ir para J
    2. Se não, ir para I
J. Ligar esteira de alimentação, movimento esquerdo
K. Testar chave de centro
    1. Se engajada, ir para L
    2. Se não, ir para K
L. Abrir válvula do silo de alimentação
M. Testar chave limite esquerda
    1. Se engajada, ir para II.A
    2. Se não, ir para M

Notar que o sistema cicla do passo M para o passo A. A descrição é construída pela simples análise de quais eventos ocorrem e qual entrada e

saídas devem ser suportadas por estes eventos.

11.2. Fluxograma (Flowchart) da seqüência de eventos

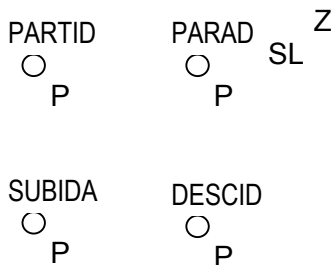
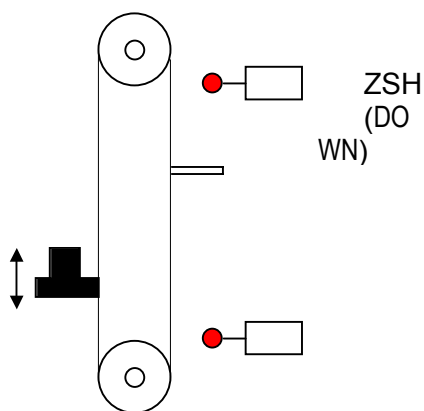
Geralmente é mais fácil visualizar e construir a seqüência de eventos usando um fluxograma (flowchart) dos eventos. O fluxograma para o processo de enchimento de garrafas é o seguinte

12. Sistema de Elevador

O elevador usa uma plataforma para mover objetivos para cima e para baixo. O principal objetivo é que, quando o botão UP for apertado, a plataforma leva algo para cima e quando o botão DOWN for apertado, a plataforma leva algo para baixo.

12.1. Equipamento

Equipamento de entrada

LS_1	chave limite NF para indicar posição UP
LS_2	chave limite NF para indicar posição DOWN
PARTIDA	botoeira NA para **partir**
PARADA	botoeira NA para **parar**
SUBIDA	botoeira NA para comando **subir**
DESCIDA	botoeira NA para comando **descer**

Equipamentos de saída

M_1	motor para acionar a plataforma para cima
M_2	motor para acionar a plataforma para baixo

12.2. **Descrição narrativa**

1. Quando o botão PARTIDA é apertado, a plataforma é acionada para a posição para baixo
2. Quando o botão PARADA é apertado, a plataforma pára, em qualquer posição que estiver naquele momento
3. Quando o botão SUBIDA é apertado, a plataforma é acionada para cima, se ela não estiver descendo
4. Quando o botão DESCIDA é apertado, a plataforma é acionada para baixo, se ela não estiver subindo

12.3. Solução

A solução será feita, dividindo as exigências nas tarefas individuais:

1. mover plataforma para baixo, quando se aperta PARTIDA
2. parar a plataforma
3. seqüências de subir e descer

Partida

Quando se aperta a chave PARTIDA (BP_1), o contato CR_1 –1 sela a bobina CR_1 e CR_1– 2 liga o motor M_2, que faz a plataforma descer. Quando a plataforma atingir a posição baixa, chave LS_2 abre, desenergizando CR_1 e parando o motor M_2.

A chave LS_2 fica fechada enquanto a plataforma não estiver na posição baixa. A chave LS_2 abre para indicar que a plataforma atingiu a posição mais baixa. Quando a linha 1 é aberta pela chave LS_2, o selo CR_1 – 1 abre, eliminando o selo.

As três linhas do diagrama ladder só operam quando a botoeira PARTIDA (BP_1) é acionada.

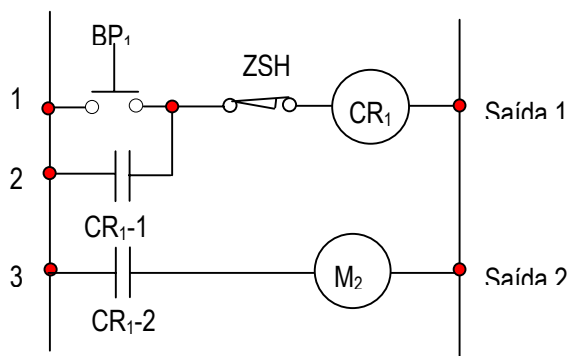



Fig. 2. Inicialização para mover a plataforma para baixo quando se aperta o botão PARTIDA

Parada

Para a seqüência **parada**, tem-se um relé mestre CR_3 para o resto do sistema. Como a chave PARADA é NA, não se pode usá-la para energizar CR_3, como em circuito com chave NF. Em vez disso, usa-se a chave PARADA para energizar um outro relé CR_2 e usam-se os contatos NF deste relé para desenergizar CR_3. Assim, quando se aciona a chave PARTIDA, CR_3 é energizado pelo contato de selo CR_1 e pelo contato NF de CR_2. Quando se aciona PARADA, CR_2 é energizado, causando o contato NF (CR_2 – 1) abrir e desenergizar CR_3.

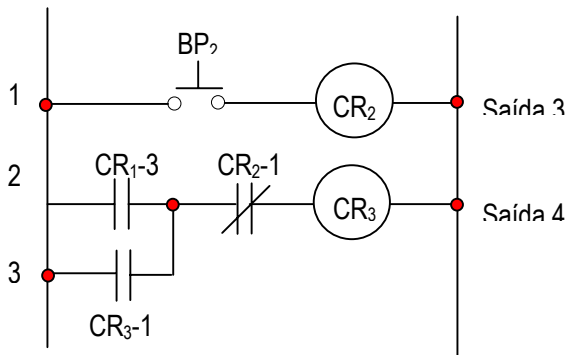



Fig. 3. Inicialização para mover a seqüência PARADA

Seqüências SUBIDA e DESCIDA

Em cada caso, um relé é selado para energizar um motor, se

CR_3 é energizado,

o botão apropriado é acionado,

o limite não foi atingido e

a outra direção não foi energizada.

Um contato NF de relé é usado para garantir que o motor de subida não é ligado se o motor de descida estiver ligado e vice-versa.

Também é necessário adicionar um contato para garantir que M_2 não seja ligado se houver um movimento para cima e se alguém acionar a botoeira PARTIDA.

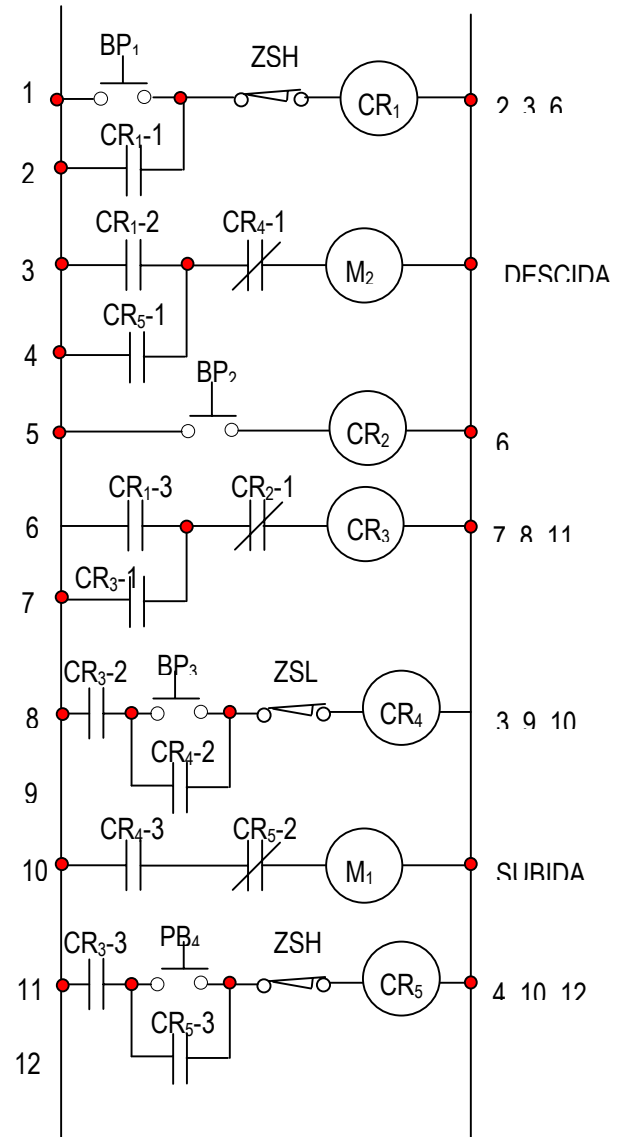



Fig. 3. Diagrama ladder completo

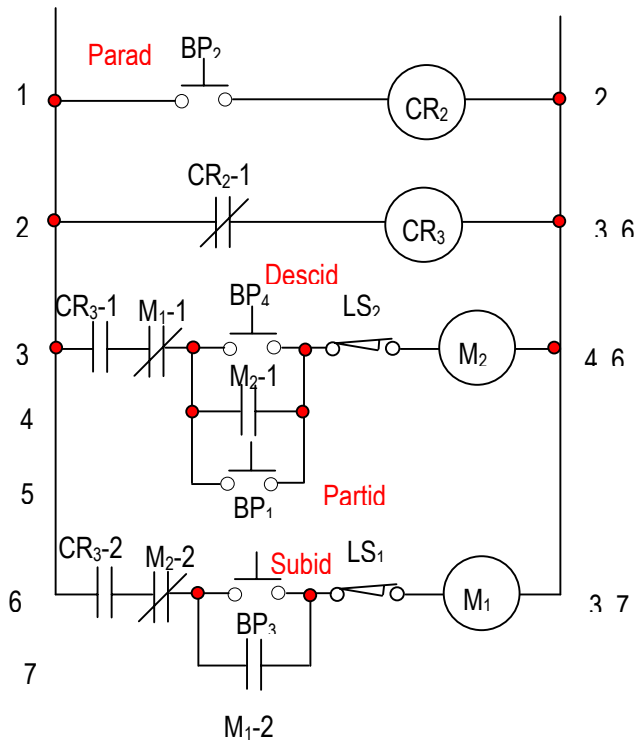



Fig. 1. Diagrama ladder simplificado alternativo

O diagrama ladder pode ser simplificado, considerando-se que M_1 e M_2 podem ser realmente relés usados para ligar os motores via contatos. Se é assumido que estes relés podem ter contatos adicionais para acionar outras operações do diagrama ladder, então alguns dos relés de controle podem ser eliminados. Por exemplo, M_1 e M_2 podem ser considerados relés com os respectivos contatos.

13. Enchimento de tanque

Definir as variáveis de estado para o processo de aquecer um líquido em uma temperatura ajustada e manter esta temperatura por 30 minutos.

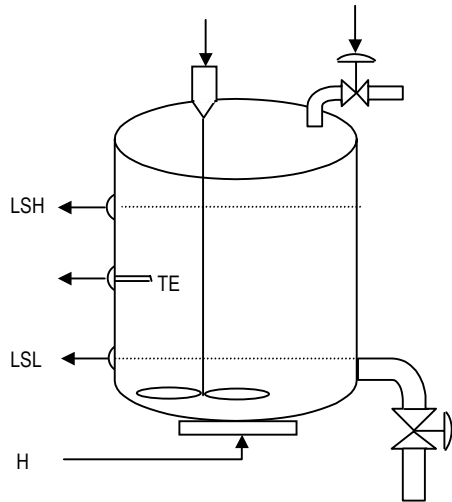



Fig. 11. Processo do tanque

13.1. Equipamentos

1. Botoeira NA de PARTIDA
2. Botoeira NF de PARADA
3. Chaves de nível alto e baixo

13.2. Seqüência de eventos

1. Encher o tanque
2. Aquecer e agitar o líquido à temperatura de ponto de ajuste e mantê-la por 30 min
3. Esvaziar o tanque
4. Repetir o ciclo

13.3. Explicação do ladder

A linha 3 abre a válvula de entrada, desde que a válvula de saída não esteja aberta, até o nível atingir o valor alto (LSH abre em nível alto). Quando o tanque estiver cheio, a linha 4 liga o motor de agitação, desde que a válvula de saída não esteja aberta. A linha 5 parte um temporizador de 30 minutos. A linha 6 controla o aquecedor. A linha é energizada e desenergizada quando a temperatura fica abaixo e acima do ponto de ajuste. Quando o temporizador expira o tempo, a linha é desenergizada e a linha 7 é energizada para abrir a válvula de saída. A válvula de saída permanece aberta até que o nível do tanque atinja o valor mínimo Quando o tanque fica vazio, a chave LSL abre. A válvula de saída não pode ser aberta enquanto a válvula de entrada estiver aberta.

13.4. Diagrama Ladder

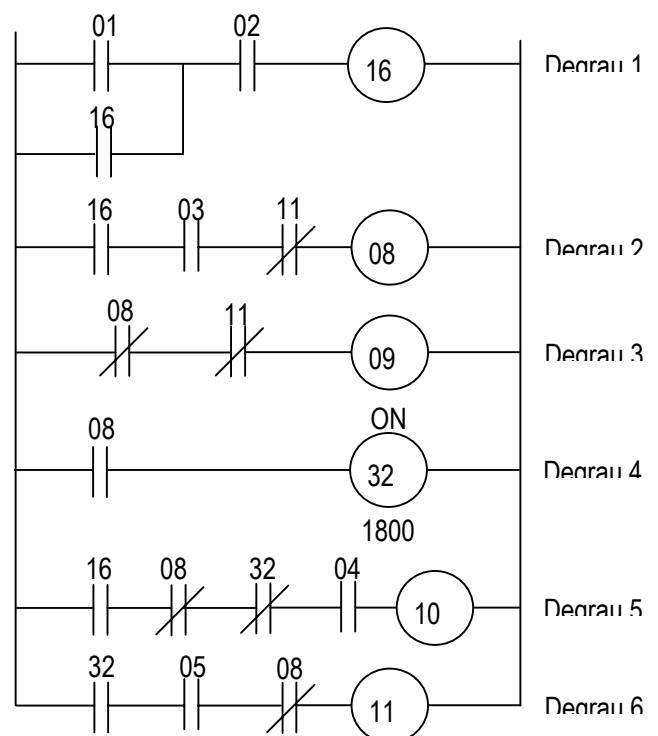



Diagrama ladder programado para CLP

6

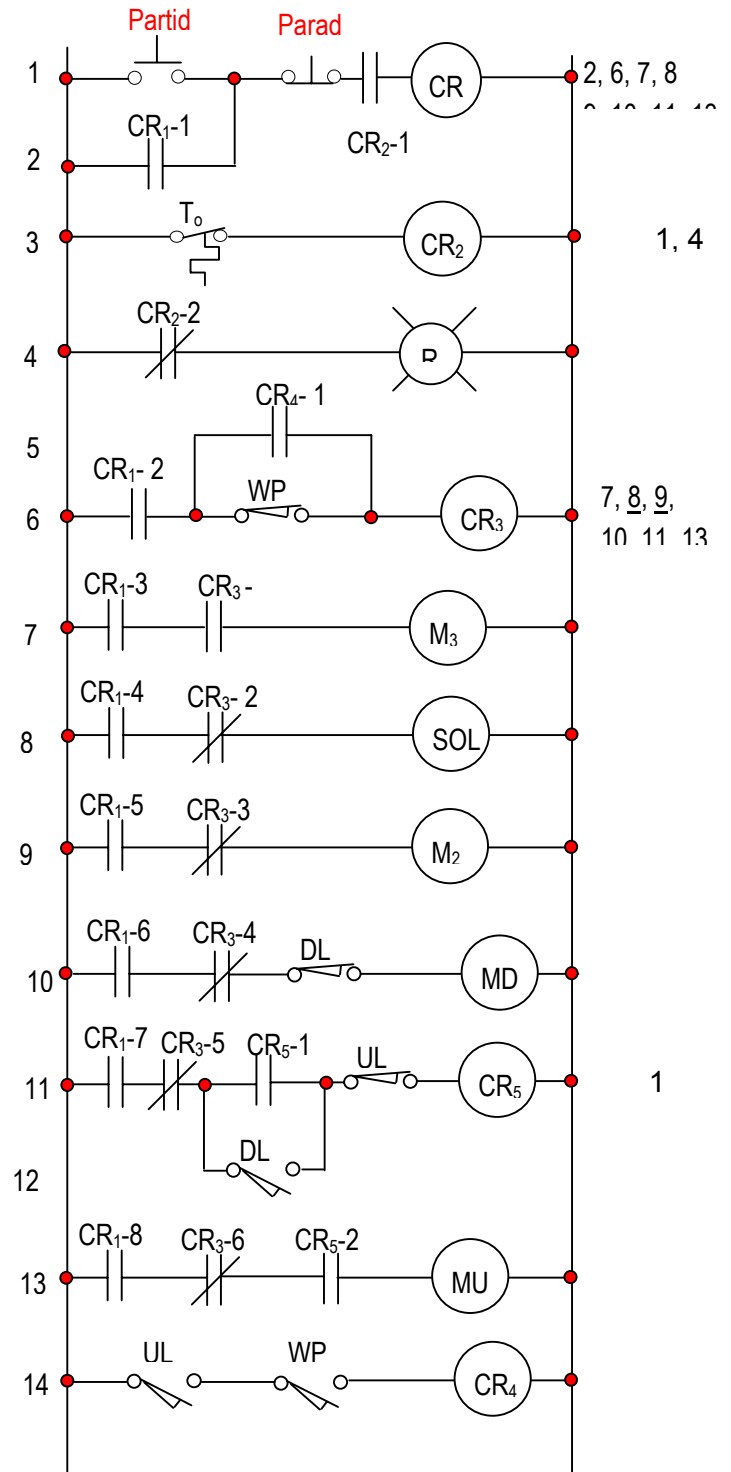
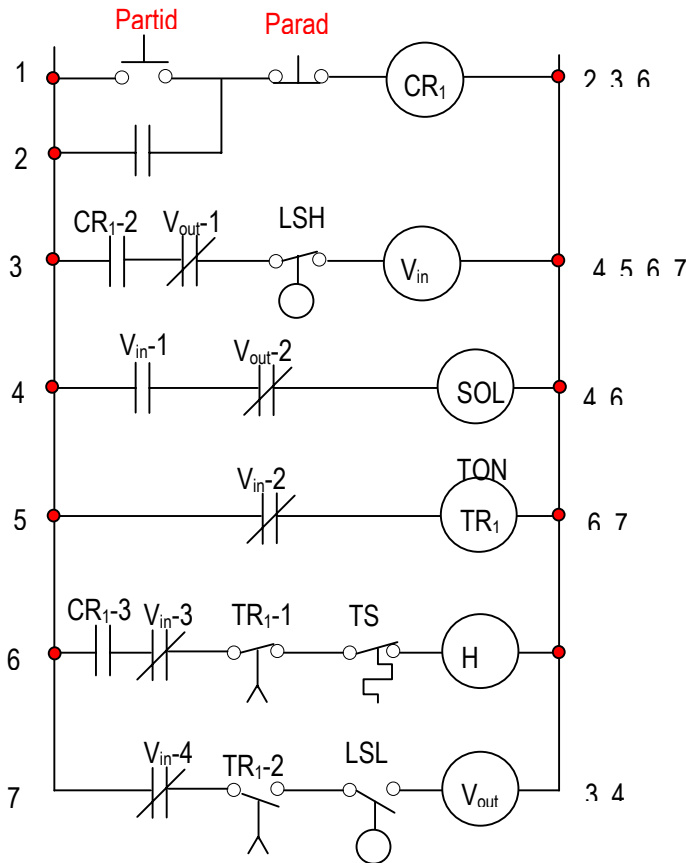



Diagrama de Blocos Funcionais

1. Conceitos Básicos

1.1. Geral

A norma IEC-1131-3 define o Diagrama de Bloco de Função, linguagem gráfica para o controlador lógico programável, que é consistente com a norma IEC 617-12: *Graphical symbols for diagrams*, para instrumentos analógicos e digitais.

2.2. Combinação de elementos

Os elementos da linguagem Diagrama de Bloco Funcional (Functional Block Diagram, FBD) devem ser interligados por linhas de fluxo de sinal conforme a norma.

Saídas dos blocos não devem ser ligadas juntas. Em particular, o OR fiado da linguagem do diagrama ladder não é permitido na linguagem FBD; um bloco OR booleano explícito é necessário, em vez disso, como mostrado na **Fig. 6.** 24.

<table>
<tr><th>OR fiado fisicamente como em diagrama ladder</th><th>Função OR na linguagem FBD</th></tr>
<tr><td><pre>
| a   c |
+---||--+--()--+
| b |
+--||---+ |
| |
</pre></td><td><pre>
       +------+
a---| >=1 |---c
b---| |
       +------+
</pre></td></tr>
</table>

Fig. 6.1. Exemplos de OR booleanos

2.3. Ordem da avaliação do circuito

Dentro de uma unidade de organização de programa, na linguagem FBD, a ordem da avaliação do circuito deve seguir a regra que o circuito deve ser completo antes de começar a avaliação de outro circuito que use uma ou mais saídas do circuito avaliado anterior.

2.4. Bloco de função

Bloco de função é uma unidade de organização de programa que, quando executa, gera um ou mais valores. Pode-se criar várias instancias nomeadas de um bloco de função. Cada instância deve ter um identificador associado (nome da instância) e uma estrutura de dados, contendo sua saída e variáveis internas e, dependendo da implementação, valores de ou referencias para seus parâmetros de entrada. Todos os valores das variáveis de saída e as variáveis internas necessárias desta estrutura de dados devem persistir de uma execução do bloco de função para o próximo, de modo que a invocação do mesmo bloco de função com os mesmos argumentos (parâmetros de entrada) não necessariamente forneçam o mesmo valor de saída.

Somente os parâmetros de entrada e saída devem ser acessíveis do lado de fora de uma instância de um bloco de função, i.e., as variáveis internas do bloco de função devem ser ocultas do usuário do bloco de função.

Qualquer bloco de função que tenha sido declarado pode ser usado na declaração de outro bloco de função ou programa.

O escopo de uma instância de um bloco de função deve ser local à unidade de organização de programa em que ele é instanciado, a não ser que seja declarado global em um bloco VAR_GLOBAL.

O nome de instância de um bloco de função pode ser usado como a entrada para uma função ou bloco de função, se declarado como uma variável de entrada na declaração VAR_INPUT ou como uma variável de entrada/saída de um bloco de função em uma declaração VAR_IN_OUT

Os blocos de função podem ser

1. Padrão
2. Personalizado

Bloco padrão é aquele elementar e seminal, que é usado clonado em aplicações repetitivas, onde ele pode aparecer várias vezes. A partir dos blocos padrão, fabricantes de CLP, usuários e integradores de sistema desenvolveram os blocos personalizados ou compostos, para executar tarefas mais complexas.

Fazendo analogia com a eletrônica, um bloco padrão é análogo e a um componente discreto de circuito. O bloco personalizado é análogo a um circuito integrado, onde vários elementos discretos são combinados. O bloco personalizado é fechado e difícil para o seu usuário entender sua operação, a não ser que ele seja bem documentado.

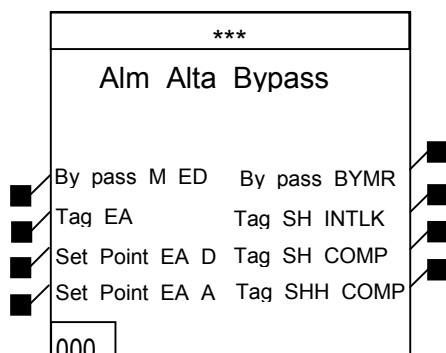



Fig. 6.2. Bloco de função personalizado, para alarme e desarme de alta com bypass

Por exemplo, pode-se criar um bloco de função personalizado para fazer alarme de alta de uma variável analógica com bypass.

As entradas deste bloco são:

By_pass_M_ED – entrada digital

Tag_EA – entrada analógica da variável a ser alarmada

Set_Point_EA_D – valor ajustado para desarme (atuado no ponto muito alto, HH)

Set_Point_EA_A – valor ajustado para alarme (atuado no ponto de alta, H)

As saídas do bloco são:

By_pass_BYMR – retorno do bypass da manutenção

Tag_SH_INTLK – saída de alta do intertravamento

Tag_SH_COMP – comparador do sinal de alarme de alto

Tag_SHH_COMP – comparador do sinal de desarme de muito alto

Para construir este bloco personalizado, foram utilizados:

1. duas portas de seleção GE (maior ou igual)
2. uma porta MOVE, para levar um sinal da entrada para a saída
3. uma porta OR

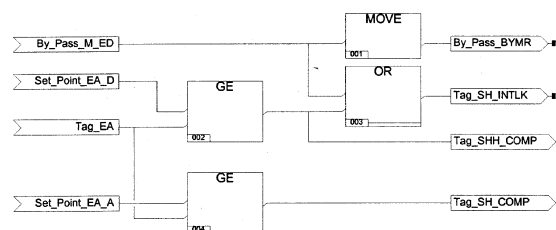



Fig. 6.3. Interior do bloco de função **Alm_Alta_Bypass**

3. Blocos Funcionais Padrão

AIN

Bloco de entrada analógica. Recebe e transforma os valores das entradas analógicas em contagens de um valor real, limitando-os entre MN e MX.

Parâmetros do bloco:

IN Entrada (DINT)

MX Limite superior (REAL)

MN Limite inferior (REAL)

Saída varia de MN a MX (REAL)

Característica:

Se a entrada está entre 819 e 4095 contagens, Então o valor da saída varia

entre MN e MX. Senão (a entrada é menor que 819 ou maior que 4095), a saída é limitada entre MN e MX, respectivamente.

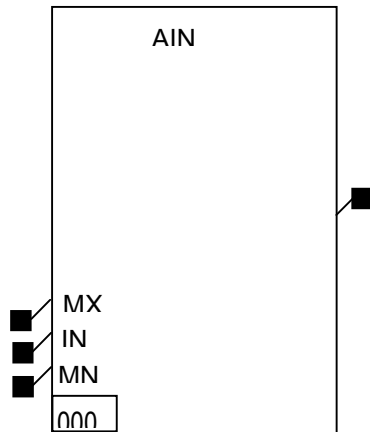



Fig. 6.4. Bloco de função **AIN**

Aritmética de Adição (ADD)

1. O valor da saída deste bloco de função é igual à soma dos valores de todas as entradas.
2. O bloco de adição é extensível, ou seja, pode ter de 2 a 50 entradas.
3. Ele pode operar com variáveis numéricas, datas, tempos e horas do dia (TOD)

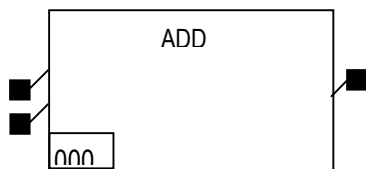



Fig. 6.5. Bloco de função **ADD**

Aritmética de Subtração (SUB)

1. O valor da saída deste bloco de função é igual à subtração do valor da entrada superior menos o valor da entrada inferior.
2. O bloco de adição só pode ter de duas entradas.

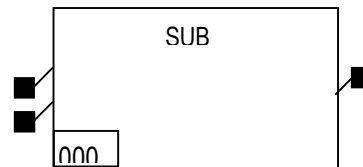



Fig. 6.6. Bloco de função **SUB**

Aritmética de Divisão (DIV)

1. O valor da saída deste bloco de função é igual à divisão do valor da entrada superior pelo valor da entrada inferior.
2. O bloco de Divisão só pode ter de duas entradas.

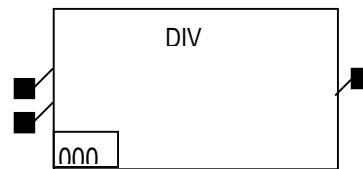



Fig. 6.7. Bloco de função **DIV**

Aritmética de Multiplicação (MUL)

3. O valor da saída deste bloco de função é igual ao produto dos valores das entradas.
4. O bloco MUL é extensivo, podendo ter de 2 a 50 entradas.

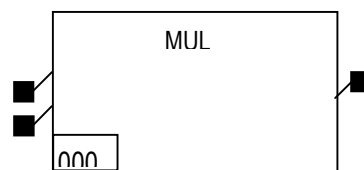



Fig. 6.8. Bloco de função **MUL**

Comparador Diferente de (NE)

Este bloco compara as duas entradas:

Se elas forem diferentes, Então, a saída é 1, Senão (forem iguais), a saída é 0.

Este bloco é chamado também de **Não Igual (<>).**

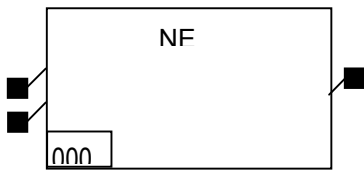



Fig. 6.9. Bloco de função **NE**

Comparador Maior ou Igual (GE)

1. Se o valor da entrada superior for maior ou igual ao valor da entrada inferior, Então a saída é 1, Senão, a saída vai para 0.

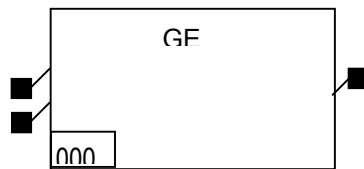



Fig. 6.10. Bloco de função **GE**

Comparador Menor ou Igual (LE)

1. Se o valor da entrada superior for menor ou igual ao valor da entrada inferior, Então a saída é e; Senão, a saída passa para 0.

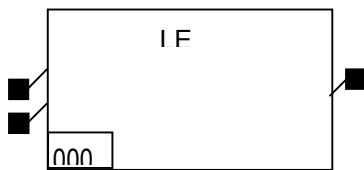



Fig. 6.11. Bloco de função **LE**

Contador Crescente (CTU)

Este bloco de função faz uma contagem crescente. Seus parâmetros são:

CU – Entrada do pulso de contagem
R – quando R = 1, contador é zerado
PV – é um valor predeterminado
CV – é o valor atual do contador
Q – Saída. Se CV ≥ PV, Então a saída Q passa para 1, Senão (CV < PV), Q permanece em 0.

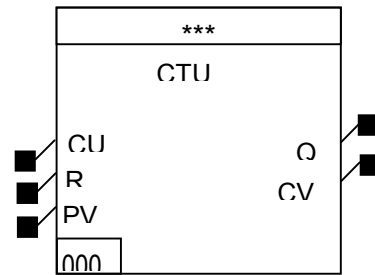



Fig. 6.12. Bloco de função **CTU**

Contador Decrescente (CTD)

Este bloco de função faz uma contagem decrescente. Seus parâmetros são:

CD – Entrada do pulso de contagem
R – quando R = 1, contador é zerado
PV – é um valor predeterminado, onde contador inicia a contagem
CV – é o valor atual do contador
Q – Saída. Se CV <= PV, Então a saída Q passa para 1, Senão (CV > PV), Q permanece em 0.

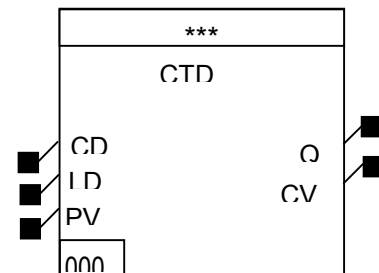



Fig. 6.13. Bloco de função **CTD**

Contador Crescente e Decrescente (CTDU)

Este bloco de função faz contagens crescente e decrescente. Seus parâmetros são:

CU – Entrada do pulso de contagem crescente
CD – Entrada do pulso de contagem decrescente
R – quando R = 1, contador é zerado
PV – é um valor predeterminado
CV – é o valor atual do contador
QU – Saída do contador crescente. Se CV ≥ PV, Então a saída Q passa para 1, Senão (CV < PV), Q permanece em 0.
QD – Saída do contador decrescente. Se CV <= PV, Então a saída Q passa para 1, Senão (CV > PV), Q permanece em 0.

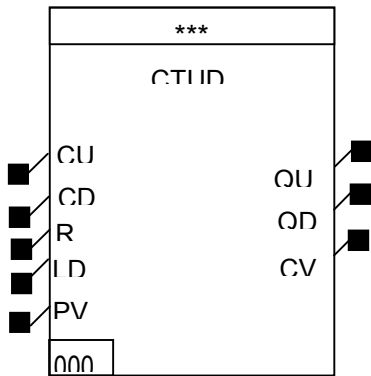



Fig. 6.14. Bloco de função **CTUD**

Conversor DINT_TO_DWORD

1. Converte o tipo de entrada DINT (Inteiro Duplo) para a saída do tipo DWORD (Palavra dupla, 32 bits, tipicamente usada em comunicação digital ModBus)

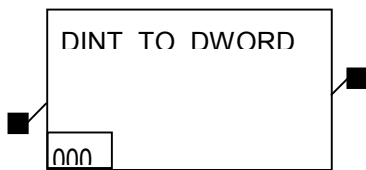



Fig. 6.15. Bloco de função **DINT_TO_DWORD**

Conversor DWORD_TO_DINT

1. Converte o tipo de entrada DWORD (Palavra Dupla) para a saída do tipo DINT (Inteiro Duplo).

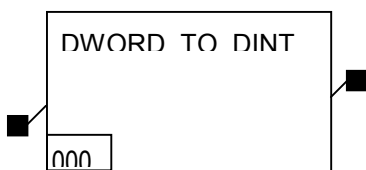



Fig. 6. 16. Bloco de função **DWORD_TO_DINT**

Conversor DINT_TO_REAL

1. Converte o tipo de entrada DINT (Inteiro Duplo) para a saída do tipo REAL.

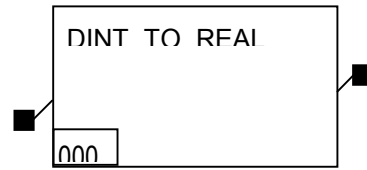



Fig. 6. 17. Bloco de função **DINT_TO_REAL**

Detector de Borda de Descida (F_TRIG)

Este bloco de função detecta o canto de descida (falling edge) de um pulso, com a seguinte lógica:

1. Se a entrada CLK passa de 1 para 0, Então a saída Q passa para 1 durante um tempo de varredura (Scan)
2. Transcorrido o tempo de varredura, a saída CLK volta para 0.

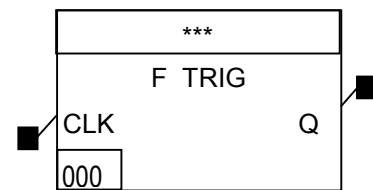



Fig. 6. 18. Bloco de função **F_TRIG**

Detector de Borda de Subida (R_TRIG)

Este bloco de função detecta o canto de subida (raising edge) de um pulso, com a seguinte lógica:

3. Se a entrada CLK passa de 0 para 1, Então a saída Q passa para 1 durante um tempo de varredura (Scan)
4. Transcorrido o tempo de varredura, a saída CLK volta para 0.

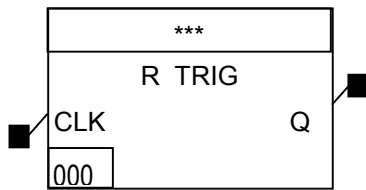



Fig. 6. 19. Bloco de função **R_TRIG**

Flip Flop RS (R prioritário)

Bloco utilizado como memória ou selo.

1. Se entrada S passa de 0 para 1 (recebe um pulso), Então a saída Q passa de 0 para 1, e mantém-se em 1 até que exista um pulso de 0 para 1 em R_1 (reset).
2. Se a saída Q está em 1 e a entrada R_1 para de 0 para 1, Então a saída Q passa de 1 para 0.

O reset (R1) é prioritário em relação ao set (S).

Flip Flop SR (S prioritário)

Bloco utilizado como memória ou selo.

1. Se entrada S_1 passa de 0 para 1 (recebe um pulso), Então a saída Q passa de 0 para 1, e mantém-se em 1 até que exista um pulso de 0 para 1 em R (reset).
2. Se a saída Q está em 0 e a entrada S_1 passa de 0 para 1, Então a saída Q passa de 0 para 1.

O set (S_1) é prioritário em relação ao reset (R).

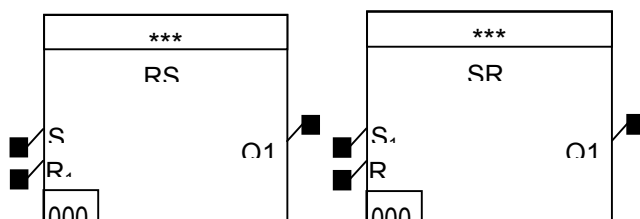



Fig. 6. 20. Blocos de função flip flop **RS** e **SR**

Lógica Ou (OR)

Este bloco faz a seguinte lógica booleana:

1. Se uma ou mais de suas entradas são verdadeiras (1), Então a sua saída é verdadeira (1); Senão, a saída é falsa (0). A saída é falsa (0) somente se todas as entradas forem falsas (0).
2. Este bloco é extensível, pois pode ter de 2 a 50 entradas, com uma única saída.

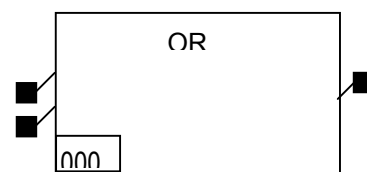



Fig. 6. 21. Bloco de função **OR**

Lógica E (AND)

Este bloco faz a seguinte lógica booleana:

1. Se uma ou mais de suas entradas são falsas (0), a sua saída é falsa(0). Senão, a saída é verdadeira (1). A saída é verdadeira (1) somente se todas as entradas forem verdadeiras (1).
2. Este bloco é extensível, podendo ter de 2 a 50 entradas, com uma única saída.

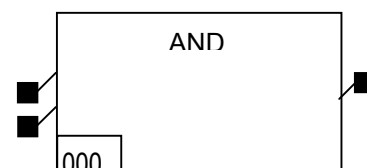



Fig. 6. 22. Bloco de função **AND**

Lógica Mover (MOVE)

1. O bloco MOVE transfere o valor de sua entrada para a sua saída. Ele tem a função de atribuir valores.
2. Este bloco possui apenas uma entrada e uma saída

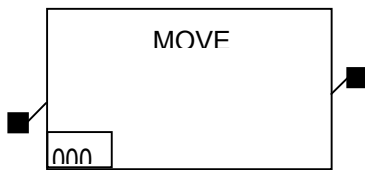



Fig. 6. 23. Bloco de função **MOVE**

Lógica Não (NOT)

Este é o bloco lógico booleano inversor: a saída é sempre contrária à entrada, ou seja:

1. Entrada 1, Saída 0
2. Entrada 0, Saída 1

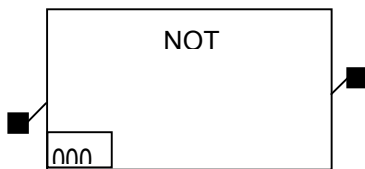



Fig. 6. 24. Bloco de função **NOT**

Multiplexador (MUX)

1. O valor da saída é igual ao valor da entrada correspondente ao número indicado em K, que pode variar de 0 a 49.
2. O bloco MUX pode selecionar entre 2 e 50 variáveis de entrada.

PACK16

Os blocos de função PACK16 e UNPACK16 são usados para compactar e descompactar na comunicação de protocolos digitais, e.g., ModBus.

1. Compacta uma série de 16 bits de entrada em uma palavra de saída do tipo WORD, que será enviada pelo CLP para a comunicação ModBus.

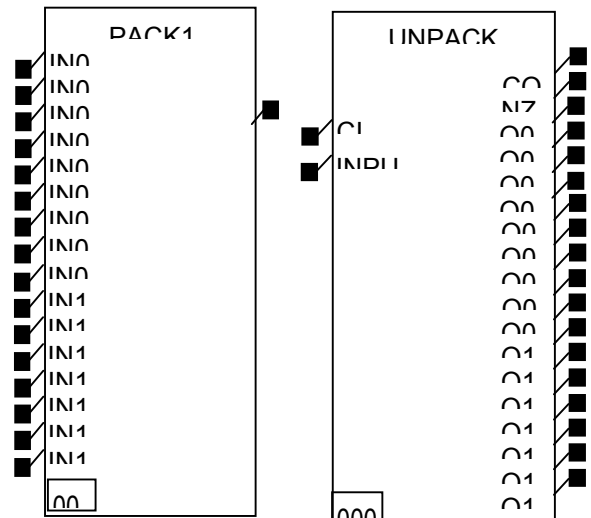



Fig. 6. 25. Blocos de função **PACK16** e **UNPACK16**

UNPACK16

1. Desagrupa uma entrada do tipo WORD, que está sendo recebida pelo CLP, via ModBus, em 16 variáveis de saída do tipo BOOL (booleana, 0 ou 1), para serem usadas na lógica.

Seletor de Sinais (SEL)

1. Se o valor da entrada G = 0, Então o valor da saída é igual ao valor da entrada IN0.
2. Se o valor da entrada G = 1, Então o valor da saída é igual ao valor da entrada IN1.

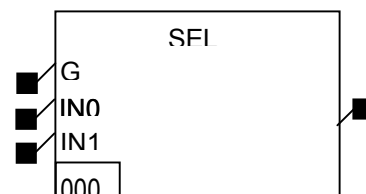



Fig. 6. 26. Bloco de função **SEL**

Temporizador (TMR)

O período de tempo em que a entrada IN estiver em 1 é registrado no acumulador. Quando o tempo atingir o valor pré-ajustado PT, a saída Q passa a 1. Se o RESET ficar igual a 1, Então o acumulador é zerado. IT é o tempo inicial do acumulador.

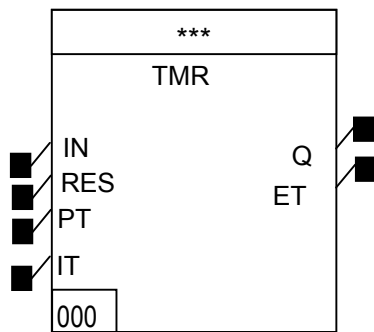



Fig. 6. 27. Bloco de função **TMR**

Temporizador TOF

Neste temporizador, a temporização é para a desenergização. Seus parâmetros são os seguintes:

IN – entrada
PT – tempo pré-ajustado (TIME)
Q – saída
ET – Tempo transcorrido
Sua lógica é:

1. Se a entrada IN vai de 0 para 1, então a saída vai também de 0 para 1, instantaneamente.
2. Quando a entrada vai de 1 para 0, a saída começa a contagem. Se a entrada voltar para 1 antes de transcorrido o tempo de temporização (ajustado em PT), a saída continua em 1.
3. Se a entrada vai de 1 para 0 e fica desligada por período maior que o PT, então a saída vai para 0 depois de PT.
4. A saída permanece em 0 enquanto a entrada ficar em 0 e só volta a ligar (ficar igual a 1) quando a entrada voltar a ficar igual a 1.

Enfim, o temporizador TOF liga instantaneamente quando a entrada é ligada e desliga depois de um tempo PT depois que a entrada ficar desligada (o tempo em que a entrada fica desligada deve ser maior que PT).

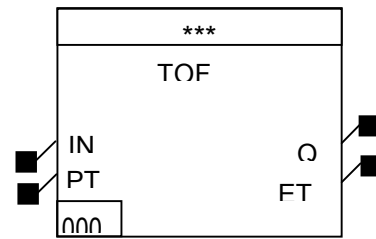



Fig. 6. 28 (a). Bloco de função **TOF**

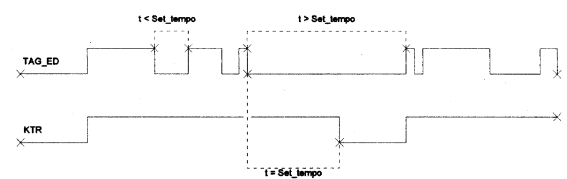



Fig. 6. 28 (b). Diagrama de tempo do **TOF**

Temporizador TON

Neste temporizador, a temporização é para a energização. Seus parâmetros são os seguintes:

IN – entrada
PT – tempo pré-ajustado (TIME)
Q – saída
ET – Tempo transcorrido
Sua lógica é:

5. Se a entrada IN vai de 1 para 0, então a saída vai também de 1 para 0, instantaneamente.
6. Quando a entrada vai de 0 para 1, a saída começa a contagem. Se a entrada voltar para 0 antes de transcorrido o tempo de temporização (ajustado em PT), a saída continua em 0.
7. Se a entrada vai de 0 para 1 e fica ligada por período maior que o PT, então a saída vai para 1 depois de PT.
8. A saída permanece em 1 enquanto a entrada ficar em 1 e só volta a desligar (ficar igual a 0) quando a entrada voltar a ficar igual a 0.

Enfim, o temporizador TON desliga instantaneamente quando a entrada é desligada e liga depois de um tempo PT

depois que a entrada ficar ligada (o tempo em que a entrada fica ligada deve ser maior que PT).

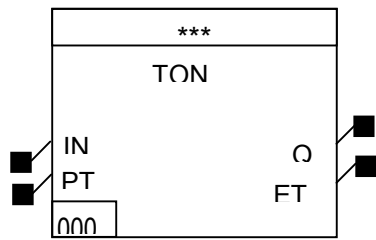



Fig. 6. 29 (a). Bloco de função **TON**

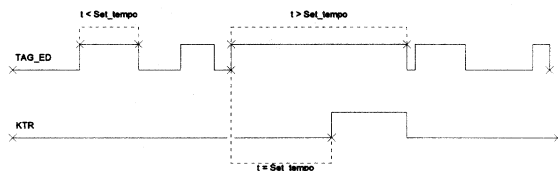



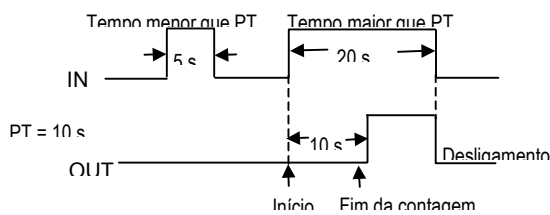
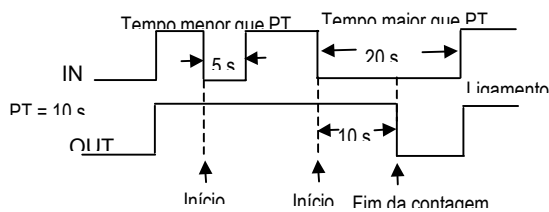
Fig. 6. 29 (b). Diagrama de tempo do **TON**

(a) Temporizador TON

(b) Temporizador TOF

Fig. 6.30. Diagrama dos tempos do TON e TOF

Temporizador TP

Neste temporizador, a temporização é comandada por pulsos. Seus parâmetros são os seguintes:

IN – entrada
PT – tempo pré-ajustado (TIME)
Q – saída
ET – Tempo transcorrido

Sua lógica é:

1. Se a entrada IN vai de 0 para 1 (recebe um pulso), a saída Q vai para 1 e permanece igual a 1 durante o tempo ajustado PT, independente da entrada IN.
2. Transcorrido o tempo PT, a saída Q vai de 1 para 0.

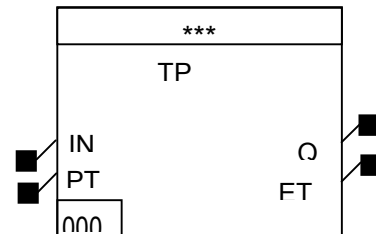



Fig. 6. 31. Bloco de função **TP**

4. Blocos Personalizados

A partir dos blocos padrão, é possível, desejável e se fazem blocos personalizados, que serão usados de modo repetitivo. Depois de construídos, estes blocos personalizados são armazenados no arquivo Biblioteca para serem usados. Também a partir de blocos personalizados, pode-se construir outros blocos personalizados mais complexos.

Alguns blocos personalizados podem, quando muito utilizados, ser tratados como padrão pelo fabricante de CLP ou desenvolvedor de sistemas.

4.1. Parâmetros dos blocos

Variável INPUT

Entrada. Pode ser um valor físico de equipamento ou ainda um valor de memória.

Variável OUTPUT

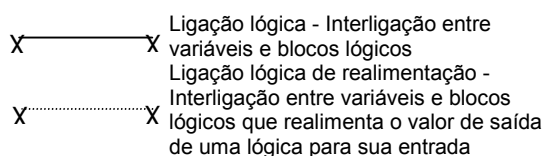
Saída. Pode ser um valor físico de equipamento ou ainda um valor de memória. O seu valor pode ser usado como entrada, quando ligado ao terminal de direita.

Variável LOCAL

Esta variável é usada apenas quando se têm pontos de transferência de valores, não está associada ao equipamento ou memória, podendo ser utilizada como entrada ou resultado de uma operação lógica.

Constante

Possui valores que são utilizados para execução da lógica. Não possui TAG.

Elos de ligação

Indicações das variáveis

<value>

Utilizado para indicar o valor atual da variável quando ligado ao sistema

CH.SL.PT=>

Indica um Chassi, Slot e Terminal ou se está na memória. Na seqüência, é indicado o Alias (endereço de comunicação ModBus) para a variável, quando houver. Por exemplo: CH.SL.PT=>01.05.14 12023 é o ponto físico no Chassi 01, Slot 05 e ponto 14 com Alias 12023.

99(A99)

Indica a referência de página. O primeiro número indica a página. A letra e número entre parêntesis indicam o quadrante, ou seja, as coordenadas Y (vertical) e X (horizontal) e da variável. Esta indicação é utilizada para variáveis de transferência entre páginas ou quando uma variável é utilizada mais de uma vez na lógica. Por exemplo,

5(A4) – a variável está na página 5, na ordenada X = 4 e Y = A.

Formação de TAG

O hífen ("-") dos Tags foi trocado por traço de sublinhar (underscore), "_" ou foi retirado.

Os Tags podem ter prefixos nos finais para identificar seus tipos. Por exemplo, tem-se:

ED Entrada digital do Triconex
EA Entrada analógica do Triconex
SD Saída digital do Triconex

Não há nenhuma saída analógica (SA) do Triconex, embora exista o bloco AOU.

As outras variáveis são internas e auxiliares do programa (geralmente sem Alias) ou de comunicação com o supervisório (com Alias).

Variáveis com a indicação C ou _ são de comunicação escrita com o supervisório do Triconex. Quando a variável contém R ou _R, ela é de retorno do comando enviado pelo supervisório, sendo então uma variável de leitura do Triconex para o supervisório.

Alarme/Desarme de ALTA com By Pass

Se Tag_EA for maior ou igual a Set_Point_EA_A,
Então Tag_SH_COMP=0
Senão Tag_SH_COMP=1

Se Tag_EA for maior ou igual a Set_Point_EA_D,
Então Tag_SHH_COMP=0 e Tag_SH_INTLK=0
Senão Tag_SH_COMP=1 e Tag_SH_INTLK=1

Se By_Pass_BYM_ED=1
Então By_Pass_BYMR=1 e Tag_SH_INTLK=1
Senão Tag_SH_INTLK será conforme item 2.

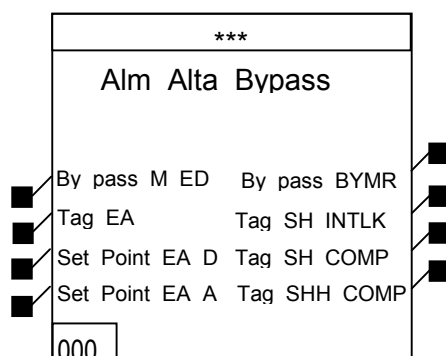



Fig. 6. 32. Bloco de função personalizado **Alm_Alta_Bypass**

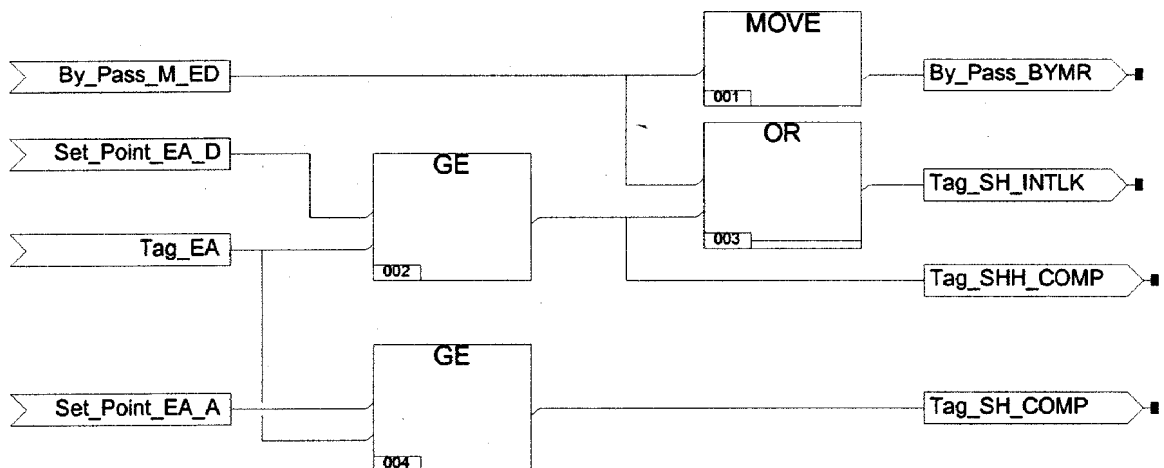



Fig. 6. 33. Bloco de função **Alm_Alta_Bypass** explodido

Alarme/Desarme de BAIXA com By Pass

1. Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_A,
   Então Tag_SL_COMP=0
   Senão Tag_SL_COMP=1
2. Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_D,
   Então Tag_SLL_COMP=0 e Tag_SL_INTLK=0
   Senão Tag_SL_COMP=1 e Tag_SL_INTLK=1
3. Se By_Pass_BYM_ED=1
   Então By_Pass_BYMR=1 e Tag_SL_INTLK=1
   Senão By_Pass_BYMR=0 e Tag_SL_INTLK será conforme item 2.

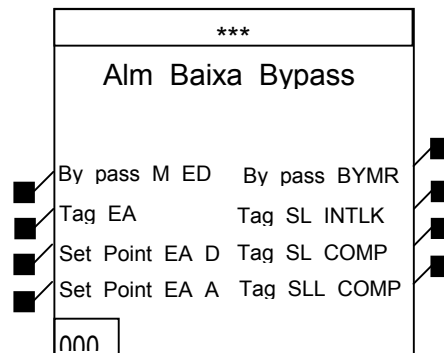



Fig. 6. 34. Bloco de função personalizado **Alm_Baixa_Bypass**

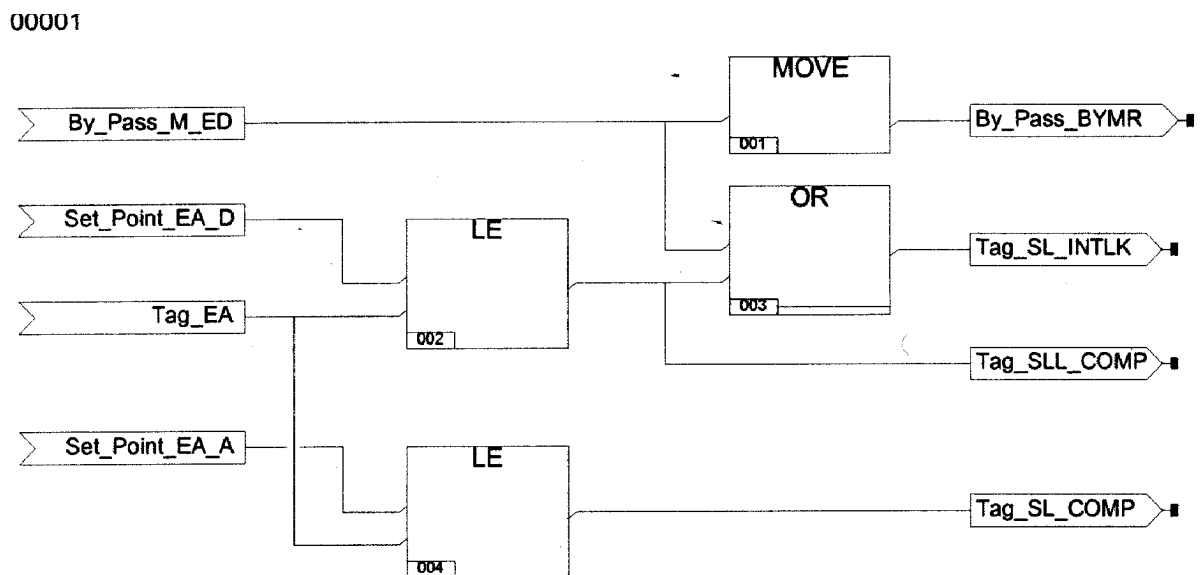



Fig. 6. 35. Bloco de função **Alm_Baixa_Bypass** explodido

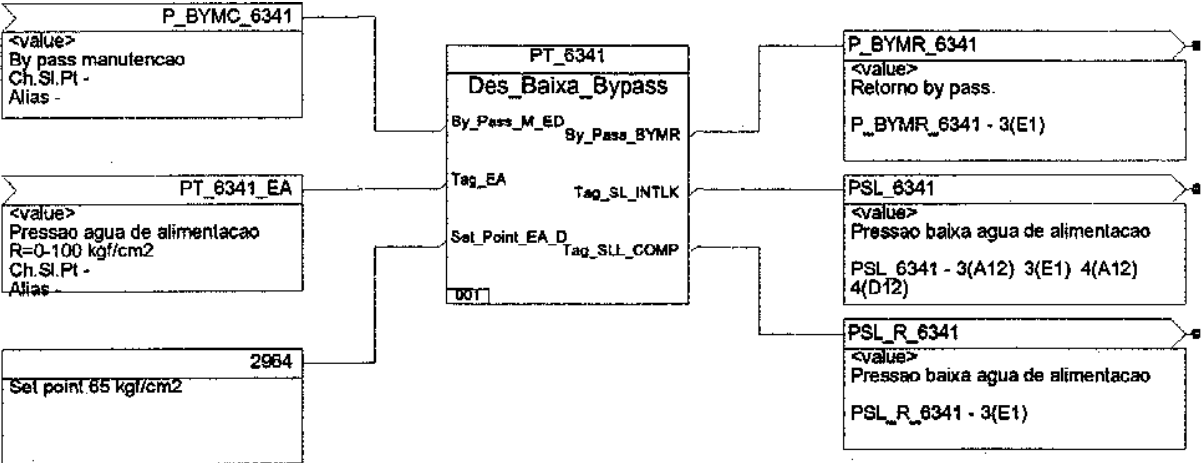



Fig. 6. 36. Aplicação de um bloco de função personalizado

Alarme/Desarme de BAIXA com By Pass de retorno automático

Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_A,
Então Tag_SL_COMP=0
Senão Tag_SL_COMP=1

Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_D,
Então Tag_SLL_COMP=0 e Tag_SL_INTLK=0
Senão Tag_SL_COMP=1 e Tag_SL_INTLK=1

Se By_Pass_BYM_ED=1
Então By_Pass_BYMR=1 e Tag_SL_INTLK=1
Senão Tag_SL_INTLK será conforme item 2.

Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_D e HS_C for acionado,
Então Tag_SL_INTLK=1
Esta condição é auto-resetada quando as condições do processo voltam ao normal e HS_R=1 enquanto as condições não forem normalizadas.

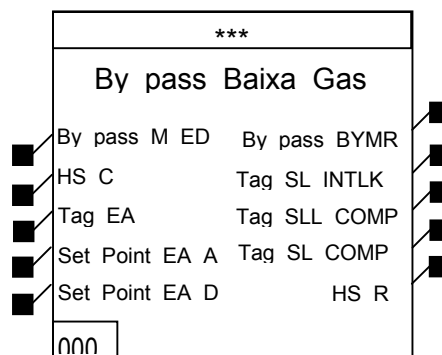



Fig. 6. 37. Bloco de função personalizado **Bypass_Baixa_Gas**

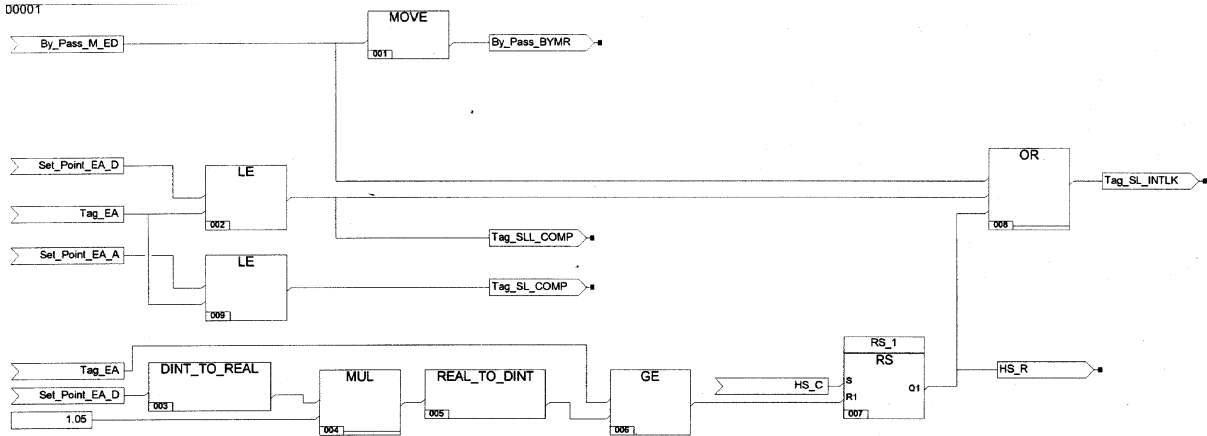



Fig. 6. 38. Bloco de função **Bypass_Baixa_Gas** explodido

Alarme de ALTA para Analisador com Seleção de Set Point

4. Se By_Pass_N_ED=0 :
   - Se Tag_EA for maior que Set_Point_EA_A_N,
   Então Tag_SH_ALM=0, Senão Tag_SH_ALM=1
   - Se Tag_EA for maior que Set_Point_EA_D_N,
   Então Tag_SHH_ALM=0, Senão Tag_SHH_ALM=1
5. Se By_Pass_BYM_N_ED=1
   -Se Tag_EA for maior que Set_Point_EA_A_M,
   Então Tag_SH_ALM=0, Senão Tag_SH_ALM=1.
   -Se Tag_EA for maior que Set_Point_EA_D_M,
   Então Tag_SHH_ALM=0, Senão Tag_SHH_ALM-1

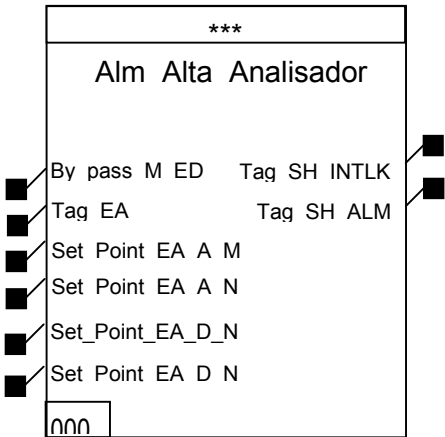



Fig. 6. 39. Bloco de função personalizado **Alm_Alta_Analisador**

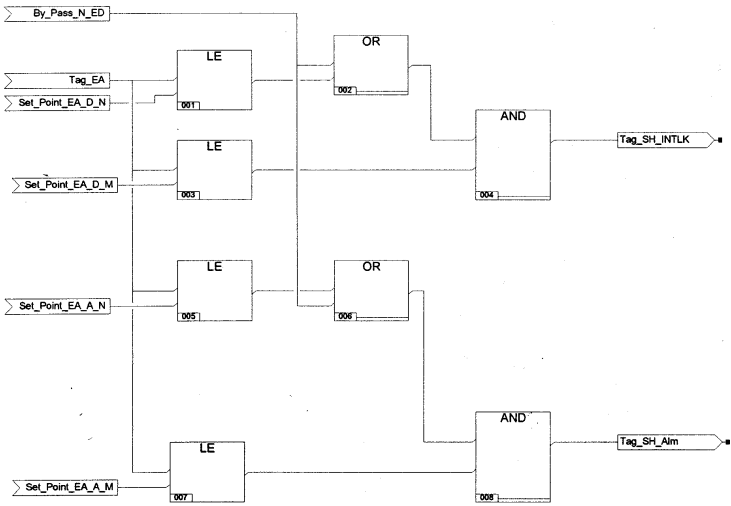



Fig. 6. 40. Bloco de função **Alm_Alta_Analisador** explodido

Blink (Piscar)

1. Se a entrada IN recebe um sinal verdadeiro (1), Então a saída Q alterna o seu valor entre 0 e 1 segundo o tempo pré-determinado em T_ON (Tempo_Ligado) e T_OFF (Tempo_Desligado).
2. O bloco blink é astável.

Parâmetros do bloco

IN – Entrada (BOOL)

RESET – (BOOL)

T_ON – Tempo da saída Q energizada (TIME)

T_OFF – Tempo da saída Q desenergizada (TIME)

Q – saída (BOOL)

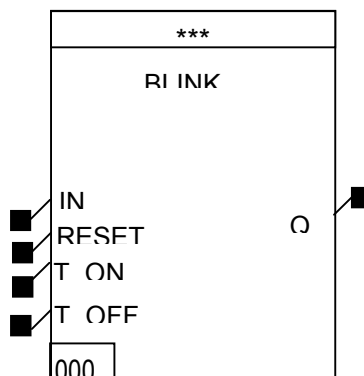



Fig. 6. 41. Bloco de função personalizado **BLINK**

By Pass de Set Point de desarme de 100% das bombas de óleo de Mobiltherm

1. Se By_Pass_M_ED=0 e HS_C=0, o set point para comparar com o valor de entrada é o set point de 100%
   - Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_D_100, Então Tag SL_INTLK=1,
   - HS_R=0
2. Se By_Pass_M_ED=0 e HS_C=pulso (0->1->0), o set point para comparar com o valor de entrada é o set point de 50%
   - Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_D_50, Então Tag SL_INTLK=1, HS_R=1
   - Se a entrada Tag_EA for maior ou igual a 5% do set point de 100%, o set point a ser usado será o de 100% e HS_R=0.
3. Enquanto By_Pass_M_ED=1:
   - Tag_SL_INTLK=1, By_Pass_BYMR-1
4. Tag_SL_COMP_50 e Tag_SL_COM_100 são as indicações de alarme de 50 e 100%, respectivamente, sem a interferência de By_Pass_M_ED e HS_C.

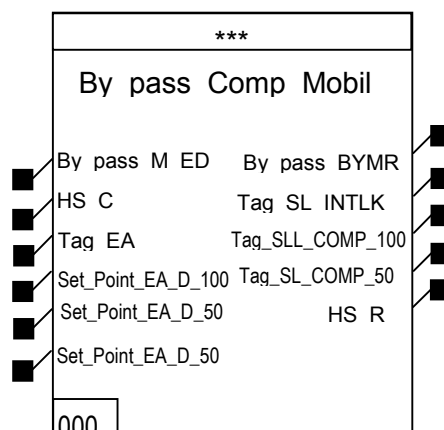



Fig. 6. 42. Bloco de função personalizado **By_Pass_Comp_Mobil**

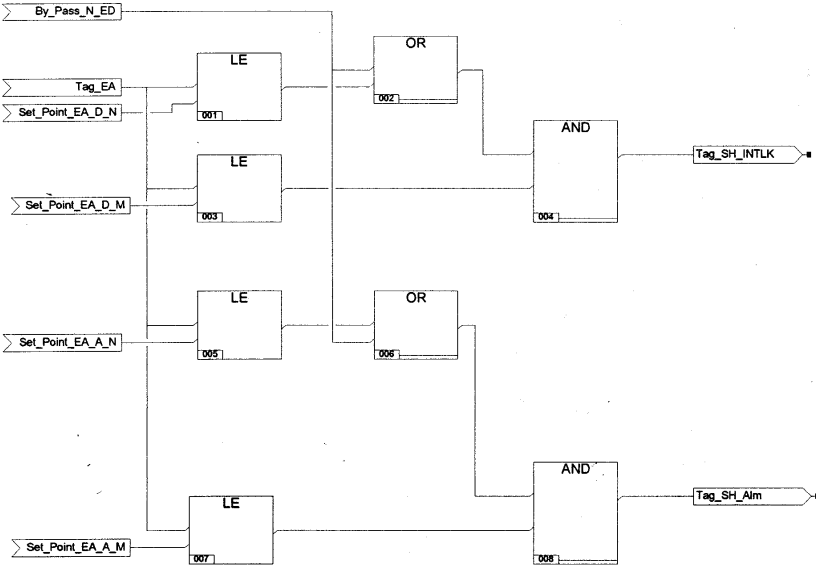



Fig. 6. 43. Bloco de função **By_pass_Comp_Mobil** explodido

Contador

Utilizado para a seleção de amostras.

6. Se Auto_Manual=1 (AUTO), Então gera-se um trem de pulsos, cujo primeiro pulso tem como tempo a entrada Set_Point1 e nos demais pulsos a entrada Set_Point2, repetindo a seqüência quando Contador_1 For igual a N_DCS.
7. Se Auto_Manual=0 (MANUAL), Então a saída PULSO permanece em 0 e o Contador_1 é zerado.

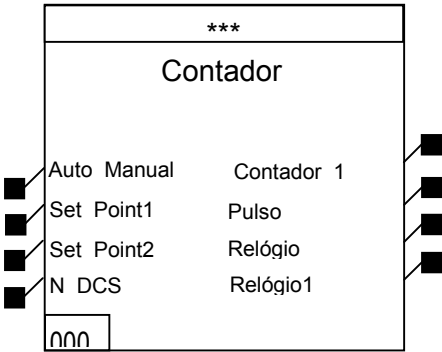



Fig. 6. 44. Bloco de função personalizado **Contador**

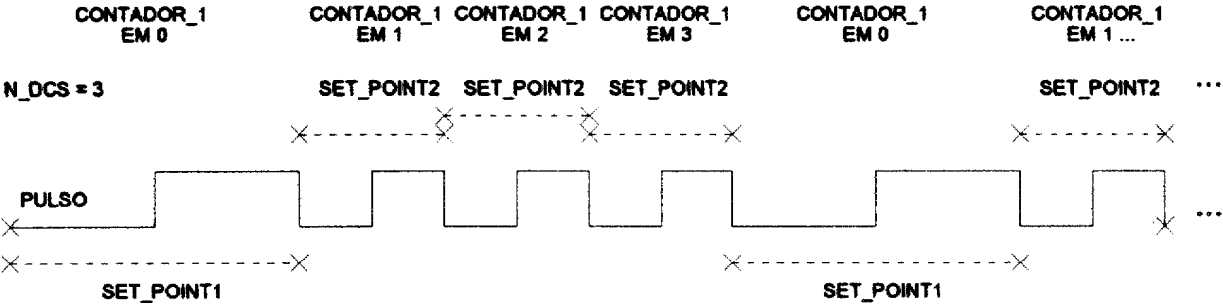



Fig. 6. 45. Saída do controle versus tempo

Controle de Acionamento de MOV

1. Se HS_Abre=0 e HS_Fecha=0:
   -Comando_Abre=0, Comando_Fecha=0 e Comando_Para=1
2. Se HS_Abre=1 e HS_Fecha=0:
   -Comando_Abre=1, Comando_Fecha=0 e Comando_Para=0
3. Se HS_Abre=0 e HS_Fecha=1:
   -Comando_Abre=0, Comando_Fecha=1 e Comando_Para=0

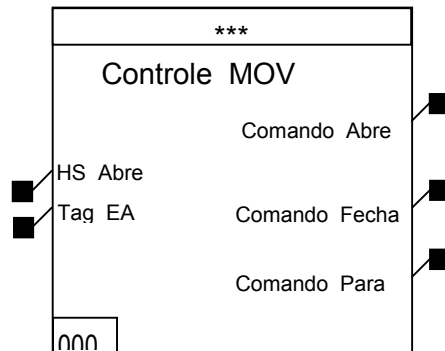



Fig. 6. 46. Bloco de função personalizado **Controle_MOV**

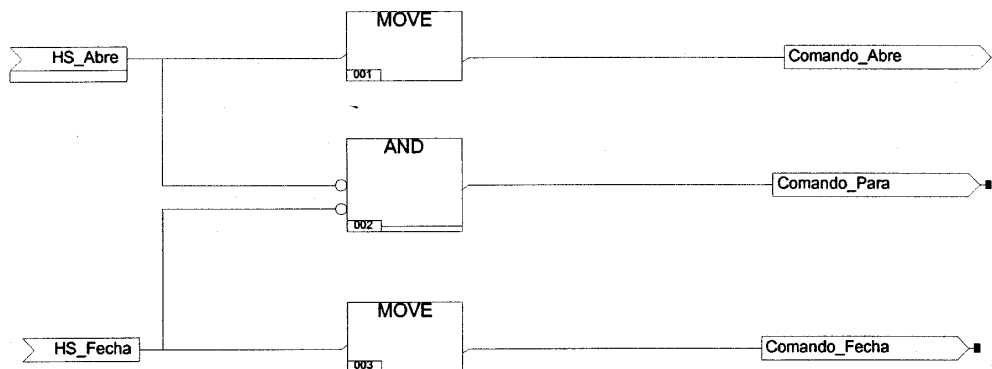



Fig. 6. 47. Bloco de função **Controle_MOV** explodido

Desarme de BAIXA com By Pass

1. Se Tag_EA for menor que Set_Point_EA_D,
   Então Tag_SLL_COMP=0 e Tag_SL_INTLK=0
   Senão Tag_SL_COMP=1 e Tag_SL_INTLK=1
2. Se By_Pass_M_ED=1,
   Então By_Pass_BYMR=1 e Tag SL_INTLK=1,
   Senão Tag_SL_INTLK será conforme item 1.

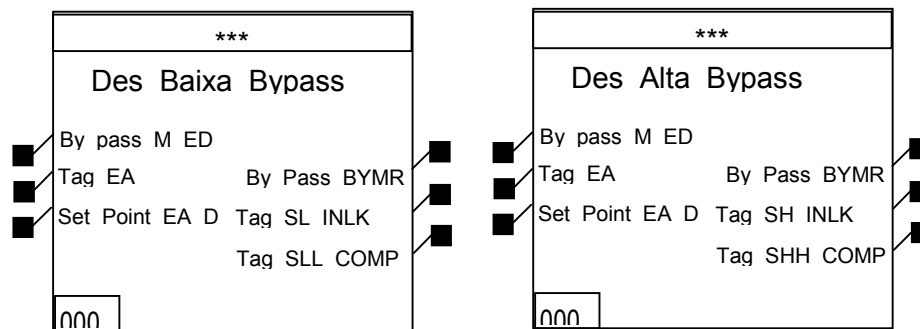



Fig. 6. 48. Blocos de função personalizados: **Des_Baixa_Bypass** e **Des_Alta_Bypass**

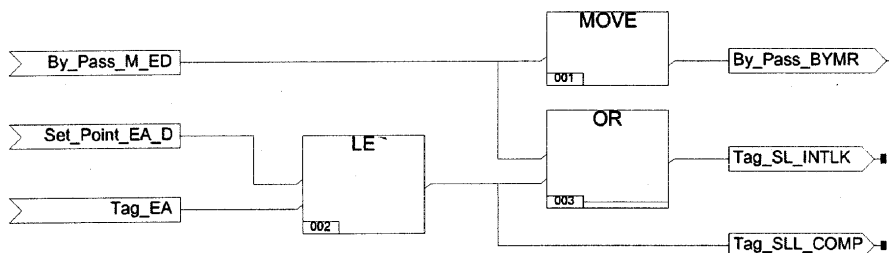



Fig. 6. 49. Bloco de função **Des_Baixa_Bypass** explodido

Desarme de ALTA com By Pass

1. Se Tag_EA for maior que Set_Point_EA_D,
   Então Tag_SHH_COMP=0 e Tag_SH_INTLK=0
   Senão Tag_SH_COMP=1 e Tag_SH_INTLK=1
2. Se By_Pass_M_ED=1,
   Então By_Pass_BYMR=1 e Tag SH_INTLK=1,
   Senão Tag_SH_INTLK será conforme item 1.

Rastreador de Alta

1. Se o valor da entrada Tag_EA decresce, o Set_Point (determinado pela razão de Tag_EA convertida para a escala determinada pela Range_Max e Range_min, multiplicada pelo fator MUL) acompanha a entrada, porém, mantem a razão FATOR_MUL com a entrada.
2. Se o valor da entrada Tag_EA pára de decrescer e começa a crescer, o Set_Point é travado no último valor em que o Tag_EA esta decrescendo. Se By_Pass_HS_C, a razão entre o Set_Point e Tag_EA passa novamente a ser igual ao FATOR_MUL.
3. Se o valor Tag_EA é maior que o valor do set point e By_Pass_BYOC=0
   Então, Tag_SDH_INTLK=0 e Tag_SDH_COMP=0
   Senão, Tag_SDH_INTLK=1 e Tag_SDH_COMP=1
4. Tag_Pct_Desv_SAR é o desvio entre o valor do Tag_EA e o set point na escala de 810 a 4095 (equivalente a 0 a 100%).
5. Se By_Pass_BYOC=1, Então Tag_SDH_INTLK = 1 sempre e demais condições permanecem como no item anterior.

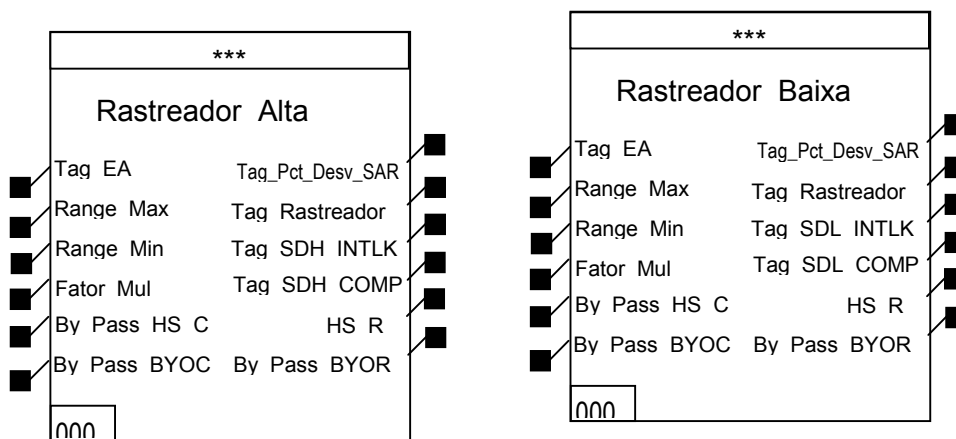



Fig. 6. 50. Blocos de função personalizados: **Rastreador_Alta** e **Rastreador_Baixa**

Rastreador de Baixa

1. Se o valor da entrada Tag_EA cresce, o Set_Point (determinado pela razão de Tag_EA convertida para a escala determinada pela Range_Max e Range_min, multiplicada pelo fator MUL) acompanha a entrada, porém, mantem a razão FATOR_MUL com a entrada.
2. Se o valor da entrada Tag_EA pára de crescer e começa a decrescer, o Set_Point é travado no último valor em que o Tag_EA estava crescendo. Se By_Pass_HS_C, a razão entre o Set_Point e Tag_EA passa novamente a ser igual ao FATOR_MUL.
3. Se o valor Tag_EA é menor que o valor do set point e By_Pass_BYOC=0
   Então, Tag_SDH_INTLK=0 e Tag_SDH_COMP=0
   senão, Tag_SDH_INTLK=1 e Tag_SDH_COMP=1
4. Tag_Pct_Desv_SAR é o desvio entre o valor do Tag_EA e o set point na escala de 810 a 4095 (equivalente a 0 a 100%).
5. Se By_Pass_BYOC=1, Então Tag_SDH_INTLK = 1 sempre e demais condições permanecem como no item anterior.

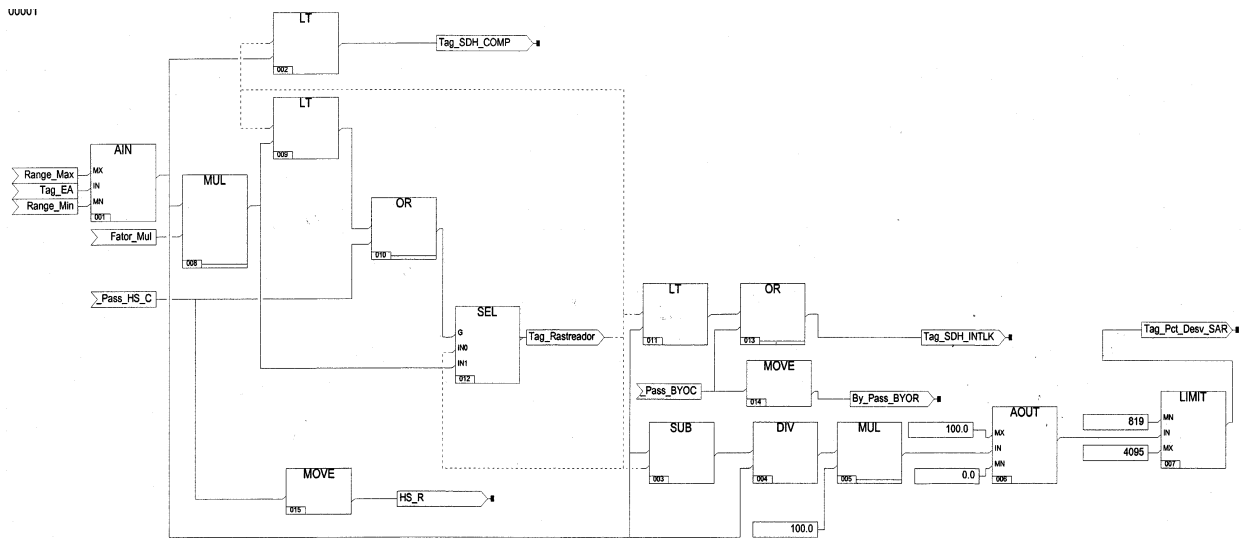



Fig. 6. 51. Bloco de função **Rastreador_Baixa** explodido

Seletor de By Pass

1. Impede que dois instrumentos sejam bypassados ao mesmo tempo, ou seja, uma vez que BYMC_1 é acionado (1), a saída By_Pass_1 passa para 1, desde que a entrada BYMC_2 não esteja em 1 e vice versa.

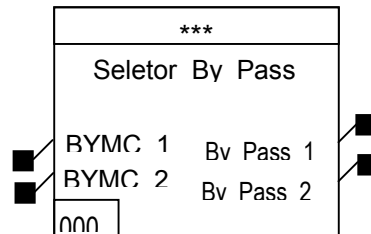



Fig. 6. 52. Bloco de função personalizado **Seletor_By_Pass**

TR_CALENDAR

1. O bloco os dados de ANO, MÊS, DIA, HORA, MINUTO, SEGUNDO, MILISSEGUNDO, DIA DA SEMANA E SEGUNDOS, em relação à dada de JAN 01, 1970 00:00:00m quando a entrada CI é igual a 1; Senão (CI=0), os valores ficam congelados.

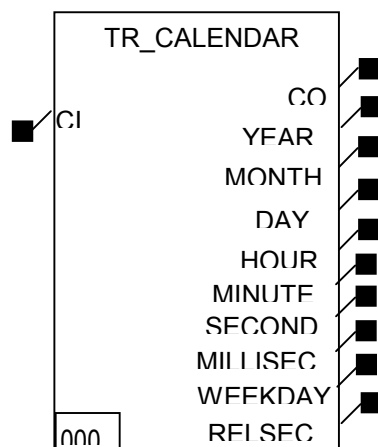



Fig. 6. 53. Bloco de função personalizado **TR_CALENDAR**

Apostilas\Diagramas 5BlocosFuncao.doc 09 JUN 00

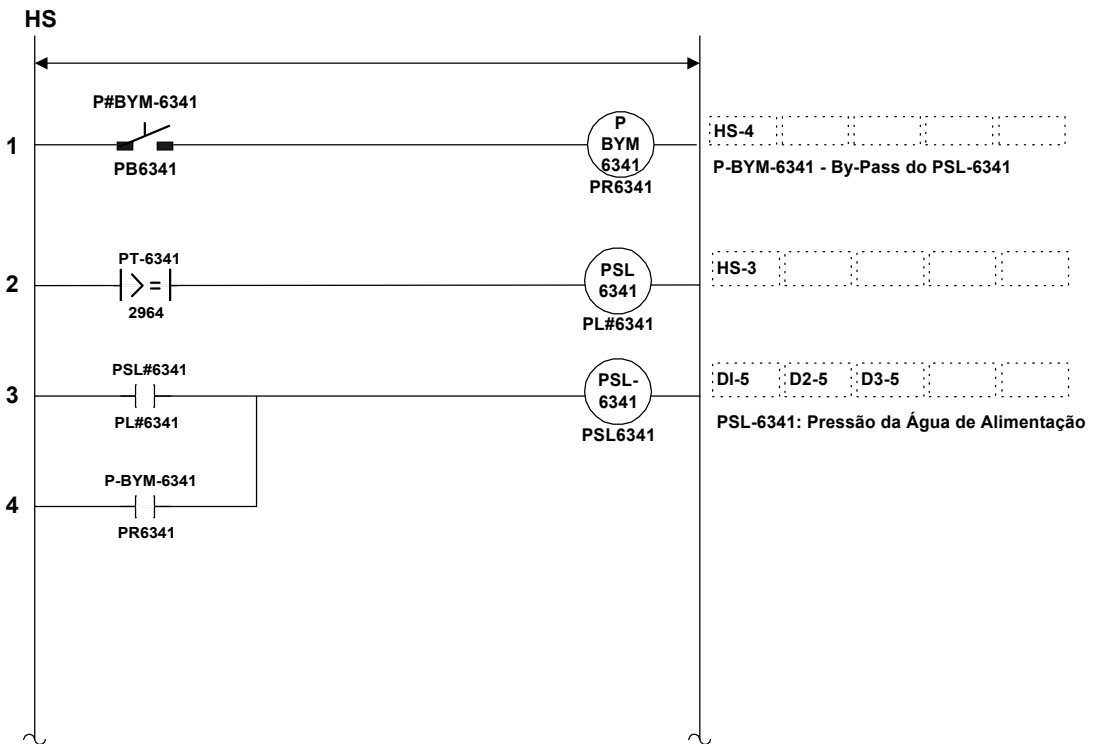



Fig. 6.54. Diagrama ladder dos Botões de Comando e By pass

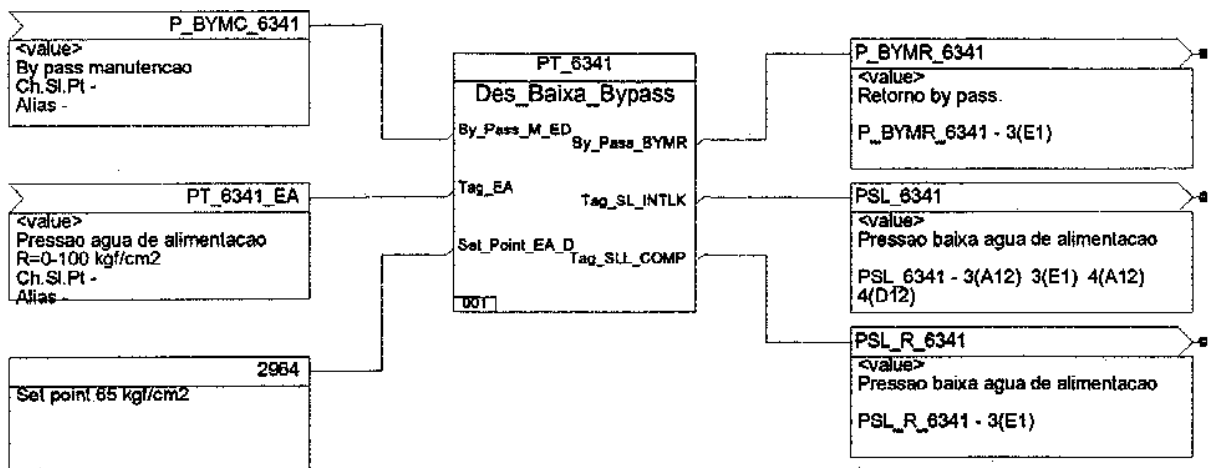



Fig. 6.55. Diagrama com blocos funcionais dos Botões de Comando e By pass

Tecnologias

1. Instrumentação Inteligente
2. Computador no Processo
3. Controlador Lógico Programável (CLP)
4. Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA)
5. Integração de Sistemas
6. Base de Dados

7

Instrumentação Inteligente

1. Instrumento microprocessado

1.1. Conceito de microprocessador

O prefixo micro significa que o processador é fabricado em um *chip* semicondutor, onde há um circuito eletrônico com larga escala de integração (LSI), ou seja, há milhões de componentes passivos e ativos eletrônicos dentro de um extrato semicondutor medindo alguns poucos centímetros. Não há um computador no chip, mas uma unidade de processamento central (CPU). Interligados à CPU há circuitos de entrada/saída (I/O), memórias de vários tipos e os periféricos. O microprocessador é barato para comprar. Geralmente, os periféricos, que são eletromecânicos, são muito mais caros que o próprio micro.

O microprocessador é barato para funcionar, pois o consumo de energia é baixíssimo. A manutenção do microprocessador é fácil, pois geralmente ele é autotestável. Cada microprocessador pode incluir um detector de erro, que o teste a cada segundo e não uma vez por semana. Os microprocessadores são de tamanho pequeno podendo ser embutidos e incorporados a circuitos convencionais.

Microprocessador como controlador

Desde que o microprocessador é um processador, ele pode ser associado a circuitos adicionais de I/O e outros periféricos para formar um controlador, conceitualmente equivalente a um grande computador digital.

Em instrumentação, o microprocessador está integralizado a circuitos de cromatógrafos e analisadores de composição. Mesmo os instrumentos convencionais utilizam microprocessadores para otimizar seu funcionamento, p. ex., controladores com transferência A/M. A mais fascinante a atraente aplicação do microprocessador em instrumentação está na estação de auto-sintonia da malha de controle.

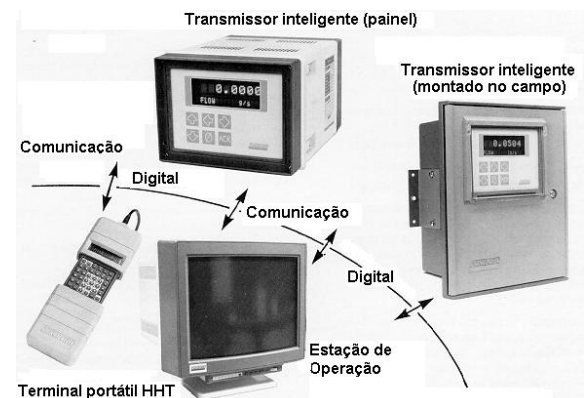



Fig. 6.1. Instrumentação inteligente, (Foxboro)

No controle digital a microprocessador distribuído, cada processo é controlado por um microprocessador. Por causa de seu baixíssimo custo, o microprocessador pode ser abundantemente distribuído para monitorar as diferentes partes do processo. Cada microprocessador pode controlar simultaneamente algumas dezenas de malhas convencionais. Os sinais analógicos do processo são convertidos em digitais pelo microprocessador, que tem embutida em

seu circuito a função de multiplexagem. Depois de efetuar os cálculos e computações matemáticas necessárias, o microprocessador gera um sinal digital, que é convertido de volta em analógico para atuação dos elementos finais de controle. Cada microprocessador se dedica ao controle de um conjunto de malhas. Para o controle de todo o processo são usados vários microprocessadores, que devem ser interligados a um outro microprocessador supervisório. Vários microprocessadores supervisórios, por sua vez, podem ser assistidos por um outro microprocessador gerente. Através do raciocínio de computadores serem associados em diferentes níveis de cooperação e função, pode se obter um sistema hierarquizado, análogo a um organograma da própria planta.

Têm-se os seguintes níveis, com funções cada vez menos específicos:

1. microprocessadores distribuídos e responsáveis por tarefas e funções muito especificas, tais como alarme, controle, intertravamento e segurança. Seus tempos de resposta são pequenos, da ordem de frações de segundos.
2. microprocessadores supervisórios, com a finalidade de aumentar a eficiência do controle, através da modificação de pontos de ajuste dos microprocessadores responsáveis pelo controle (nível 1). Tempo de resposta: cerca de minutos.
3. microprocessadores de otimização e comunicação, com as tarefas mais genéricas de estabelecer a política de longo prazo e utilização de energia. A resposta dinâmica dos microprocessadores deste nível é da ordem de horas.
4. microprocessador mestre (host) ou principal, cuja função é a de gerenciar o controle no mais alto nível. Pode ser responsável pela analise financeira e o gerenciamento da produção. Os tempos envolvidos são da ordem de semana.

Nem todos os sistemas possuem todos os quatro níveis. Por preconceito, às vezes, os microprocessadores dos níveis 3 e 4 são chamados de computadores. Sob o ponto de vista do controle de processo, pelas constantes de tempo envolvidas e necessidades de memória, mesmo um microprocessador convencional pode exercer as funções de gerenciamento e otimização. Como o microprocessador central delega parte de suas responsabilidades aos micros distribuídos, ele não precisa ser nem tão rápido e nem tão sofisticado.

Função do Microprocessador

O microprocessador revolucionou a instrumentação eletrônica. O uso de microprocessador em instrumentos aumentou drasticamente sua exatidão, expandiu suas capacidades, melhorou sua confiabilidade e forneceu uma ferramenta para desempenhar tarefas não imagináveis até então.

O instrumento a microprocessador se tornou extremamente versátil, onde os procedimentos de medição se tornaram mais facilmente administráveis, ajustes, calibração e teste se tornaram automáticos e o seu desempenho metrológico foi melhorado. O microprocessador fornece

1. procedimentos computacionais mais eficientes,
2. analise estatística dos resultados
3. resultados linearizados e corrigidos
4. funções programáveis.

Houve uma mudança radical na filosofia do projeto do instrumento. Como o microprocessador se tornou uma parte integral do instrumento, os enfoques são totalmente diferentes com relação à estrutura, circuito e controle do instrumento. As principais vantagens do instrumento microprocessado são:

1. multifuncionalidade estendida e expandida em programas flexíveis,
2. consumo de energia muito reduzido,
3. adaptação fácil a interfaces padrão de bus para sistemas integrados
4. facilidade de controle por causa da interface
5. operação e uso mais simples, economizando tempo.
6. tamanho miniaturizado

7. confiabilidade maior, por ter poucos componentes, e componentes mais confiáveis por causa do encapsulamento que o torna imune à umidade e temperatura.

1.2. Vantagens do microprocessador

Multifuncionalidade

A idéia de instrumento multifuncional não é nova. Porém, sem o uso do microprocessador, um instrumento multifuncional era, na prática, a montagem de várias sub-unidades funcionais em um único invólucro. Em serviço, o usuário escolhia sua função através de chaves convenientes. Deste modo, ele montava as várias sub-unidades em uma configuração adaptada para medir a função escolhida. O algoritmo de projeto do instrumento ficava inalterado. O instrumento multifunção convencional usava lógica fixa com todos os circuitos e fios físicos soldados (*hard-wired*). Esta forma de lógica contradiz a multifuncionalidade e eficiência. Sempre havia problemas para controlar e chavear as várias funções do instrumento.

O microprocessador, como parte integrante do instrumento, tornou a lógica fixa do instrumento multifuncional em programável. O programa que executa suas múltiplas funções fica armazenado em memórias eletrônicas (ROM ou PROM). Por este motivo, o instrumento microprocessador é também chamado de programa armazenado. A lógica armazenada torna o instrumento fácil de ser programado e de ser atualizado, sem mudanças significativas no circuito. A lógica programável tornou o preço do instrumento muito menor, por causa da padronização e simplicidade dos componentes.

Exatidão melhorada

A exatidão do instrumento microprocessado foi muito melhorada. Os erros sistemáticos podem ser diminuídos por vários motivos:

1. um ajuste de zero automático no início de cada medição,
2. uma calibração automática
3. autoteste e autodiagnose.
4. medição replicada do valor e a computação estatística para dar o resultado mais esperado.
5. apresentação do resultado em display de modo que os resultados estranhos são descartados.

Capacidades expandidas

O microprocessador estende e expande as capacidades do instrumento, tornando-o adaptável a várias formas de técnicas de medição, como medição inferencial (indireta) e acumulativa.

O instrumento microprocessado pode fazer várias medições simultâneas e fazer computações matemáticas complexas destes sinais, para compensar, linearizar e filtrar os resultados finais. Em resposta a um simples comando entrado através de seu teclado, o microprocessador pega a técnica de medição certa, armazena os resultados das várias medições diretas, faz os cálculos e apresenta o resultado final condicionado no display. A medição é indireta, porém ela parece direta para o operador.

Por exemplo, na medição da vazão de gases, um computador de vazão microprocessado recebe os sinais correspondentes ao medidor de vazão (transmissor associado à placa, turbina, vortex), pressão, temperatura e composição. Todos estes sinais são computados internamente e o totalizador pode apresentar o valor da vazão instantânea compensada em massa ou volume, o valor do volume ou massa acumulado e a densidade do gás. Para o operador, tudo parece como se o computador estivesse fazendo a medição diretamente da vazão mássica.

Em outro exemplo, seja a medição da potência dissipada através de um resistor por um voltímetro microprocessado. O operador diz ao voltímetro para medir a resistência do resistor, armazenar o resultado e depois medir a voltagem através do resistor e finalmente computar a potência.

Controle simplificado

Inicialmente, se pensa que o instrumento multifunção programável é

mais complicado. O instrumento inteligente possui um conjunto de teclas (teclado) externo e na sua parte frontal. Através das teclas diretas ou combinação de teclas se pode selecionar as funções, faixas e modos de medição. Por exemplo, um voltímetro digital tem um teclado com 17 teclas e pode fornecer um total de 44 combinações de funções, faixas e modos. O instrumento ainda pode ter alarmes que operam quando o operador faz movimentos errados e aperta teclas incompatíveis.

Operações matemáticas do resultado

É possível que o operador queira uma função matemática de um resultado e não somente no resultado em si. O instrumento microprocessado pode fornecer várias transformações funcionais, como:

1. multiplicar o resultado por um fator constante
2. apresentar o erro absoluto da medição
3. apresentar o erro percentual da medição
4. subtrair uma constante do resultado
5. dividir o resultado por uma constante
6. apresentar o resultado em unidades logarítmicas
7. linearizar resultados

Análise estatística

Os instrumentos microprocessados podem gerar o valor médio, valor eficaz (*root mean square*), a variância, o desvio padrão de uma variável aleatória sendo analisada e o coeficiente de correlação de duas variáveis aleatórias. Há instrumentos microprocessados projetados especificamente para fazer a analise estatística dos sinais.

Melhoria do desempenho metrológico

As características metrológicas do instrumento são aquelas diretamente relacionadas com seu desempenho, em geral e com sua precisão, em particular.

Todo instrumento está sujeito a erros sistemáticos, aleatórios e acidentais. Todos estes erros podem ser minimizados (exceto o aleatório) nos instrumentos a microprocessador.

Geralmente, os erros sistemáticos são provocados por desvio do zero, desvio do fator de ganho do circuito condicionador de sinal e não linearidades internas do instrumento.

O microprocessador incorporado no instrumento pode eliminar os erros sistemáticos.

Ele elimina o erro de desvio de zero, armazenando o valor correspondente ao zero do instrumento e subtraindo automaticamente este valor das leituras do instrumento.

Ele elimina o erro de ganho do instrumento, armazenando um número quando o instrumento é desligado e que corresponde a um valor definido da voltagem de entrada. Quando o instrumento é religado para fazer novas medições, o instrumento microprocessado faz comparações e usa um fator de correção para aplicar nas novas medições.

O instrumento pode ainda fazer correções para os erros devidos a variação da freqüência do sinal (o ganho do condicionador de sinal em uma dada freqüência é diferente do ganho em sua freqüência de referência.) O instrumento armazena na memória a sua freqüência de referência e corrige as medições para as diferentes freqüências.

Os erros aleatórios não podem ser antecipados e evitados. O máximo que o operador pode fazer é minimizar seus efeitos, fazendo um tratamento estatístico de todas as medições replicadas. Deste modo, o instrumento microprocessado armazena os resultados das medições repetidas e faz o seu processamento em algoritmos apropriados para determinar média, desvio padrão e erro aleatório relativo. O instrumento pode, por exemplo, determinar a média esperada, testar a hipótese que as probabilidades do erro aleatório são normalmente distribuídas e computar os limites de erros aleatórios.

1.3. Aplicações

Um instrumento microprocessado é a melhor solução quando:

1. o instrumento deve ser multifuncional, programável e versátil

2. o sistema de medição deve ser expandido para acomodar várias funções
3. o sistema de medição deve ser interfaceado com um sistema digital
4. os dados devem ser armazenados em memória
5. um grande número de estados lógicos deve ser mantido na memória
6. as medições feitas por técnicas indiretas e cumulativas e o procedimento devem ser automatizados
7. é especificado um alto desempenho metrológico, impossível de ser obtido por métodos convencionais
8. são essenciais a autocalibração e autodiagnose
9. o processamento estatístico dos dados deve ser parte do procedimento de medição e feito automaticamente
10. as incertezas das medições devem ser determinadas e apresentadas no display, em linha do processo
11. há necessidade de transformações funcionais matemáticas, como linearização, conversão de resultados, compensação através de cálculos complexos

Por causa de todas estas vantagens, o microprocessador chegou e vai ficar por muito tempo nos campos da medição e instrumentação. Ele é a base do progresso que a ciência e a tecnologia tiveram nos últimos e nos próximos anos.

Há também várias razões para questionar o uso do instrumento microprocessado, algumas subjetivas e outras objetivas. As mais importantes são:

Há a barreira psicológica, de algumas pessoas que desconhecem o microprocessador ainda duvidam e não aceitam os benefícios transparentes do microprocessador. Muitos acham que o microprocessador é muito complicado e economicamente não é atraente. Muitos acham que não necessitam de toda a capacidade do microprocessador e por isso a sua aplicação seria ociosa e exagerada. Outros acham que o microprocessador está associado a um programa (software) que é outro motivo de repulsa, pois o seu custo é maior que o do microprocessador.

Todas estas questões são facilmente resolvidas. Embora internamente o microprocessador tenha milhares (e até milhões) de componentes, esta complexidade não requer que o seu usuário a entenda. Mesmo complexo, o microprocessador é estável e confiável, muito mais que qualquer circuito com componentes discretos. Embora a maioria utilize somente uma pequena parte da capacidade total do microprocessador, ainda assim a sua aplicação é economicamente vantajosa. O software associado ao microcomputador é também complexo e pode ter os seus besouros (bugs), porém o usuário não precisa conhece-lo. 6.3. Vantagens e limitações

Há varias vantagens obvias no sistema de controle com microprocessadores distribuídos:

1. **Divisão de trabalho e funções**. Mesmo que o sistema operacional final seja centralizado em um único microprocessador mestre, as funções são distribuídas geograficamente no processo e hierarquicamente entre os vários microprocessadores. O grau de multiprogramação é diminuído, desde que algumas funções podem ser desempenhadas diretamente por unidades remotas. Alarme e intertravamento, p. ex., podem ser feitos pelas unidades locais, sem esperar a disponibilidade do sistema central.
2. **Grau de modularidade e flexibilidade**. As unidades remotas podem ser aumentadas, retiradas ou substituídas, sem interferência no resto do sistema. O sistema pode começar pequeno e crescer, como ocorre na maioria absoluta das plantas de processo industrial.
3. **Maior integridade e confiabilidade**. Quando previsto na programação e nas ligações dos equipamentos, a retirada ou falha de uma unidade não interfere e nem interrompe o funcionamento de outras unidades. Ou seja, não há interferência nem horizontal e, com algumas restrições,

nem vertical. A falha do microprocessador principal pode degradar e fazer desaparecer algumas funções, porém, as funções mais críticas devem ser preservadas, como controle, alarme e segurança.

4. **Baixo custo dos equipamentos**. Quando comparado com o sistema SDCD, este é o grande trunfo. Na prática, o controle pode ser feito por microprocessadores do tipo pessoal, cujo custo é da ordem de poucos milhares de dólares.
5. **Não há necessárias linguagens especiais**. As dificuldades de implantação do sistema estão no desenvolvimento para ele desenvolver os algoritmos específicos de controle, como PID. Os altos custos relativos dos periféricos não são restritos a esta configuração mas são comuns a todas aplicações com controle digital.

1.4. Conclusões

Embora atrasada, a tecnologia do computador digital para controle de processo está entre nos. Inevitavelmente e por causa das técnicas de *marketing*, há um entusiasmo inicial com a nova tecnologia, que abrange as áreas de programação e de equipamentos. Através da literatura técnica tem-se a (falsa) impressão que o novo desenvolvimento é uma solução universal para todos os problemas conhecidos de controle e de computação. Quando o desenvolvimento amadurece e é melhor entendido, suas limitações se tornam conhecidas, novos problemas aparecem com os novos equipamentos e se vê que ainda não se tem a resposta de todos os problemas.

Deve ser encontrado um ponto de equilíbrio entre usuários e fabricantes, onde o uso do computador para controle de processo traga vantagens para todos os envolvidos. Não é conveniente nem inteligente o uso do computador apenas para duplicar funções já feitas adequadamente por instrumentos convencionais, simplesmente por que é moda ou há verba disponível.

Há sistema com computadores e sem computadores. Há sistemas com computadores centralizados e distribuídos. Todos eles têm vantagens e desvantagens inerentes e por isso todos continuarão a existir. A escolha correta de um sistema entre os vários existentes deve ser feita, baseando-se em considerações técnicas e econômicas.

O computador deve ser um suplemento a técnicas de controle existentes e deve desempenhar um trabalho que o sistema convencional não possa fazer. Ele não deve e nem pode ser usado para substituir todo o trabalho humano, mas deve exigir a inteligência do operador de modo que o trabalho penoso e cansativo se torne válido e digno. Finalmente, o ser humano é o mais sensível e adaptável controlador imaginável. E insubstituível!

2. Controlador inteligente

2.1. Conceito

O controlador single loop é o instrumento microprocessado com todas as vantagens relacionadas acima inerentes à sua natureza que pode ser usado para controlar uma única malha (daí o nome, single loop). É também chamado de single station. O controlador single loop resolve o algoritmo de controle para produzir uma única saída controlada. O seu baixo custo permite que ele seja dedicado a uma única malha. Por questão de marketing e por causa de sua grande capacidade, um único invólucro pode ter dois e até quatro controladores, porém, com o aumento de dificuldade da operação.

O microprocessador pode ter qualquer função configurável e por isso, um mesmo instrumento pode funcionar como controlador, controlador cascata, controlador auto-seletor ou como computador de vazão com compensação de pressão e temperatura. A configuração pode ser feita através de teclados acoplados ao instrumento ou através de programadores separados (*stand alone*).

Como a tecnologia do single loop é moderna, o instrumento incorpora todos os avanços da tecnologia eletrônica, microprocessadores, displays novos e programas criativos.

2.2. Características

Tamanho

Tem tamanho pequeno ou muito pequeno (menor que as dimensões DIN). Não necessariamente a mais importante, mas um das características mais notável da presente geração de controladores single loop é seu pequeno tamanho físico. A maioria dos controladores segue as dimensões européias DIN (*Deutche Industrie Norm*) para aberturas de paine:

¼ DIN - 96 x 96 mm (3,8 x 3,8 polegadas)
1/8 DIN - 96 x 48 mm (3,8 x 1,9 polegadas)
1/16 DIN - 48 x 48 mm (1,9 x 1,9 polegada)

O mais popular é o 1/16 DIN.

Funções de controle

Muitos controladores chamados de single loop são dual loops. Através de microprocessadores no circuito, muitos controladores oferecem os formatos de liga-desliga e PID. Outros controladores incorporam funções matemáticas, ou no próprio circuito ou através de módulos funcionais opcionais incorporados na caixa. Estas funções matemáticas incluem:

Somador - subtrator
Ganho ajustável com polarização
Multiplicador - divisor
Compensador lead/lag (avanço/atraso)
Filtro dual
Limitador de rampa e de sinal
Rastreamento (*tracking*) analógico
Extrator de raiz quadrada
Seletor de sinal (alto/baixo e médio)
Conversor de sinal (termopares, RTD)
Potenciômetro (não isolado e isolado)

Auto sintonia

Esta propriedade é disponível na maioria dos controladores single loop, exceto nos de baixo custo.

Seqüencial e programação de tempo

A maioria dos controladores single loop possui capacidade de programação temporal e sequenciamento de operações. A programação envolve quaisquer duas variáveis, porém o mais comum é se ter o tempo e a temperatura.

Em siderurgias, é comum a aplicação de programas de temperatura, onde se tem uma rampa de aquecimento, a manutenção da temperatura em um patamar durante um determinado tempo e o abaixamento em vários degraus.

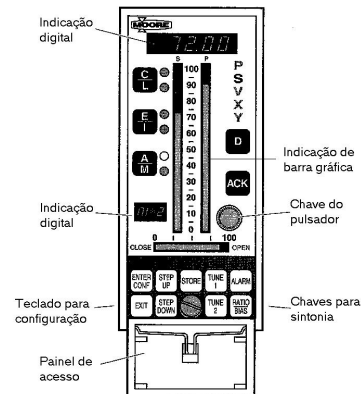



Fig. 6.2. Frontal do controlador single loop (Moore)

Outras propriedades

Os controladores single loop possuem ainda capacidade de auto/manual, ponto de ajuste múltiplo, autodiagnose e memória. São construídos de conformidade com normas para ser facilmente incorporado e acionado por sistemas SDCD.

As aplicações típicas do single loop são em plantas pequenas e médias que não podem ou não querem operar, em futuro próximo, em ambiente com controle digital distribuído. Mesmo em sistemas de SDCD, há malhas críticas que, por motivo de segurança, são controladas por controladores single-loop.

2.3. Controladores comerciais

Controlador Bailey

O controlador **Bailey** tem capacidade de duas malhas (dual loop) para controle de uma grande variedade de variáveis. O instrumento incorpora:

1. display de plasma de gás para ponto de ajuste e saída de controle
2. capacidade de armazenar até 75 códigos de funções
3. número de entradas e saídas flexível

4. estação opcional de bypass da malha para controle manual direto das saídas do processo durante manutenção.
1. auto-sintonia.

A configuração e sintonia são obtidas através de um terminal portátil proprietário que usa cursor acionado por menu para o operador navegar através de procedimentos de preencher campos em branco.

O controlador tem capacidade de monitorar, controlar, configurar até 1500 pontos de controle através de um computador pessoal.

Também, na mesma família do produto, há um controlador seqüencial que fornece entradas e saídas digitais adicionais para controlar até três seqüências, um link serial de comunicação RS 232 C para ligar a dispositivos externos, como impressora ou sistema de aquisição de dados.

As aplicações comuns incluem controle vazão, temperatura e pressão de alimentação de caldeira a três elementos e controle de surge de compressor, controle de motor, gerenciamento de

queima e outras com partidas e paradas.

Fig. 7.3. Controlador Bailey e HHT

Controlador Foxboro

O controlador *single station* **Foxboro** inclui:

1. display analógico fluorescente para mostrar através de barra de gráfico o valor da variável, do ponto de ajuste e da saída do controlador
2. display digital para indicar através de dígitos os valores e unidades de engenharia
3. display alfanumérico para indicar tag da malha selecionada
4. painel da estação de trabalho, para indicar status de operação (computador ou local), status do ponto de ajuste (remoto, local ou relação), status da saída (automático ou manual) e status de alarme (ligado ou desligado)
5. teclado com 8 teclas para configuração e operação para selecionar, configurar e sintonizar o controlador

Fig. 7.4. Controladores single loop (Foxboro)

Suas especificações funcionais são:

1. sinais de entrada proporcionais, qualquer combinação não excedendo 4 analógicas (4 a 20 mA, 1 a 5 V, voltagem de termopar ou resistência de RTD) e 2 entradas de freqüência. Todos os sinais de entrada são convertidos e podem ser caracterizados em uma variedade de cálculos.
2. cada controlador possui duas funções de controle independentes que podem ser configuradas como um único controlador, dois controladores em cascata ou em seleção automática. Os algoritmos padrão para cada controlador são P, I, PD, PI, PID e controle EXACT®
3. duas saídas analógicas não isoladas e duas saídas discretas
4. outras funções de controle como caracterização, linearizadores, portas lógicas, condicionadores de sinal
5. alarmes
6. computações matemáticas

7. alimentação do transmissor de campo
8. memória para armazenar todos os parâmetros de configuração e operação
9. filtros de entrada (Butterworth)
10. distribuição de sinais (até 30 sinais para roteamento interno)

Controlador Moore

O controlador digital microprocessado single loop da Moore possui as seguintes características físicas:

1. Display com barra gráfica de cristal líquido (LCD) para variável do processo, ponto de ajuste e valores da válvula
2. Display digital para unidades de engenharia
3. Display alfanumérico para status e indicação de alarmes.
4. Funções e operações como entradas, sadias, controles e computações são armazenados dentro da memória do modelo como modular.
5. Facilidade de seleção dos blocos funcionais. Tipicamente os blocos de função têm valores de parâmetros, limites de calibração e informações de comunicação com outros blocos de função selecionados pelo usuário.
6. Possibilidade de expansão com blocos funcionais adicionais para implementar controle avançado
7. Uso como computador de vazão, com compensação de temperatura e pressão do sinal de vazão.
8. Capacidades avançadas de compensação de tempo morto, controle preditivo antecipatório, cascata, auto-seletor, faixa dividida.
9. Opção de terceira entrada adicional para acomodar termopares, freqüência, militensão, resistência detectora de temperatura ou pulso de computador.
10. Interface de comunicação serial para ligação com rede de computadores.

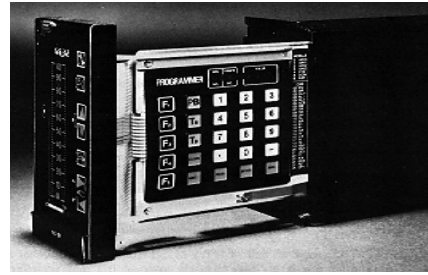



Fig. 7.5. Controlador single loop (Moore)

Controlador WEST

O controlador programador isolado West é disponível em um invólucro DIN de 1/8 (96 x 48 mm). Suas características são:

1. Display com duas linhas por LEDs
2. Sete LEDs dedicados são usados para mostrar a legenda do cursor durante a configuração e o status do instrumento quando um programa estiver rodando.
3. Saída de controle PID que pode ser oferecida com uma saída 1 (aquecimento) e uma saída 2 (resfriamento) com a adição de uma saída de alarme.
4. Opção de comunicação serial RS 485 para ligação entre mestre e escravo.
5. Capacidade de base de tempo dupla permitindo taxas de programa hora-minuto ou minuto-segundo.
6. Revisão dos parâmetros de programa sem interrupção do programa.
7. Controle auto-manual, permitindo a passagem de automático (malha fechada) para manual (malha aberta).
8. Sintonia prévia e auto-sintonia podem ser selecionadas ou não selecionadas.

As aplicações típicas envolvem processos de tratamento de calor, preparação de alimentos, esterilização e câmaras ambientais.

Fig. 7.6. Controlador West

Controlador Yokogawa

O controlador programável da Johnson Yokogawa incorpora funções de controle e computacionais que podem ser combinadas de modo análogo à programação de uma calculadora eletrônica. A função de auto-sintonia é muito útil em aplicações de batelada de vários produtos, onde as características do produto podem variar de produto para produto. Ele apresenta um algoritmo, acionado pelas variações do ponto de ajuste ou sob demanda e fornece uma resposta rápida para variações do processo. Outras características incluem:

1. controle preditivo antecipatório (feedforward), com computações de ganho e polarização
2. processamento de sinais
3. entradas analógicas (4 pontos, 1 a 5 V cc)
4. saídas analógicas (3 pontos, 1 a 5 V cc ou 4 a 20 mA cc)
5. funções seqüenciais
6. display de dados
7. manipulação de até 10 pontos de status I/O, cada um definido pelo usuário como entrada ou saída.
8. teclas de função programáveis (4) na frente do painel para controlar a partida das seqüências.
9. lâmpadas associadas (4) para indicar o progresso da seqüência ou servir como cursor.
10. cerca de 43 funções computacionais.

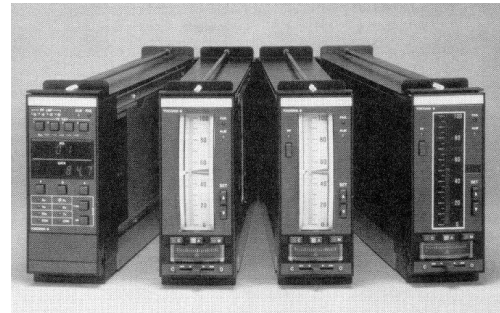



Fig. 7.7. Controladores Johnson Yokogawa

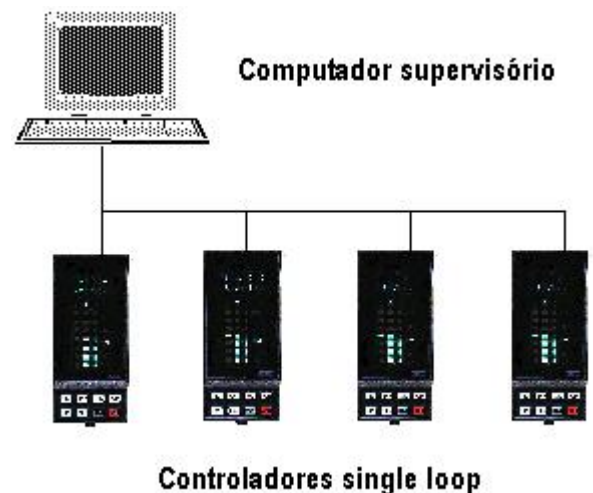



Fig. 7.8. Controladores *single loop* interligados a um sistema de comunicação digital

3. Transmissores inteligentes

3.1. Introdução

A evolução no projeto de transmissores tem sido influenciada, por um lado, pelas exigências dos usuários por melhor desempenho acoplado com custo de propriedade reduzido e, por outro lado, pelos desenvolvimentos que ocorreram nas tecnologias adjacentes, microeletrônica, ciência dos materiais e tecnologias de comunicação. Os avanços mais significativos resultaram do aparecimento de microprocessadores de baixo consumo de potência e de conversores analógico-digital (A/D) que, junto com os circuitos sensores básicos, podem funcionar com potência limitada (tipicamente menor que 40 mW) disponível em um transmissor convencional de 4 a 20 mA cc.

Nos anos 1980s, estes instrumentos microprocessador foram chamados de *inteligentes*. Este é outro de muitos exemplos de nomes escolhidos estupidamente para instrumentos de processo. Não há nada particularmente inteligente nos instrumentos inteligentes. Porém, eles possuem características acima e além das de seus predecessores e estas capacidades devem ser entendidas. A capacidade adicional tornou-se possível pelo desenvolvimento do admirável microprocessador e a sua inclusão nos instrumentos de medição. Isto significa que um transmissor inteligente possui um pequeno computador em seu interior que geralmente lhe dá a habilidade de fazer, entre várias outras, duas coisas principais:

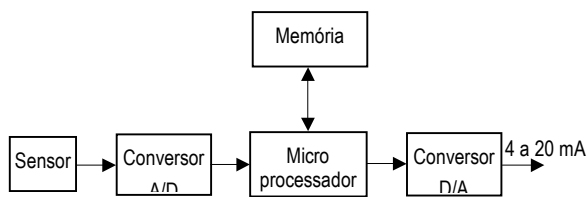
1. modificar sua saída para compensar os efeitos de erros
2. ser interrogado pelo instrumento receptor da malha.

As capacidades peculiares dos instrumentos inteligentes são:

1. habilidade de transmitir medições do processo, usando um sinal digital que é inerentemente um método mais preciso do que o sinal analógico. O principal obstáculo é a falta de padronização deste sinal digital e seu respectivo protocolo. Algum dia isto será resolvido.
2. Todos os instrumentos de medição industriais contem componentes como foles, diafragmas e elos que exibem comportamento não linear ou cujo comportamento pode ser alterado por variações de temperatura, umidade, pressão, vibração, alimentação ou outros efeitos externos. Em outros casos, os efeitos não lineares aparecem por causa dos princípios de medição, como a medição de vazão com placa de orifício. A estratégia, até hoje, era usar outros instrumentos para compensar estes efeitos. Como os instrumentos inteligentes possuem uma grande capacidade computacional, estas compensações, correções e linearizações são mais facilmente conseguidas através de circuitos embutidos no microprocessador.
3. Além de transmitir a informação, o transmissor inteligente pode também *ouvir*. Um benefício prático disto é em verificação de pré-partida. Da sala de controle, o instrumentista pode perguntar ao transmissor que está no campo qual é o seu número de identificação.
4. Possibilitando a inclusão de um segundo sensor, de modo que os efeitos secundários do sensor principal possam ser compensados.
5. Um transmissor inteligente pode ter sua faixa de calibração facilmente alterada através de comandos de reprogramação em vez de ter ajustes mecânicos locais. Na medição de vazão com placa de orifício, as verificações de zero do instrumento requerem a abertura e fechamento das válvulas do distribuidor no transmissor.

3.2. Transmissor smart e inteligente

Para diferenciar o transmissor convencional daqueles em que são aplicadas correções no sinal do sensor primário, usando um microprocessador para manipular a informação que está incorporada na memória ou daqueles em que um microprocessador é usado em

conjunto com um sensor secundário para derivar correções para o sinal do sensor primário, usa-se o termo smart (sabido).

Componentes de um transmissor smart

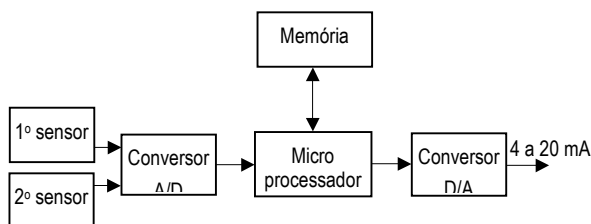



Fig. 7.9. Componentes de um transmissor smart com sensor secundário

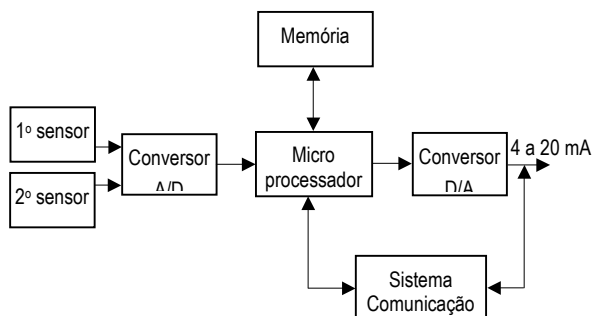



Fig. 7.10. Componentes de um transmissor smart e inteligente com uma facilidade de comunicação

O fato de se incorporar um microprocessador em um transmissor tem também fornecido uma oportunidade para sair de um regime em que somente o sinal de medição é transferido do transmissor para um receptor, tal como um controlador ou indicador ou registrador, para um em que o microprocessador não somente implementa as funções smarts mencionadas previamente, mas também gerencia uma facilidade de comunicação. Isto possibilita que os dados específicos ao próprio transmissor, tais como seu tipo, número de série, tag de identificação, sejam armazenados no transmissor e acessados através da malha de medição em que o transmissor está instalado. Outras funções, tais como ajuste ou reajuste de zero e largura de falha, detalhes da localização e aplicação e rotinas de diagnóstico para dar aviso de mau funcionamento também podem ser implementados. O termo inteligente tem sido usado para identificar tais transmissores.

Uma evolução adicional que está sendo atualmente usada é a multiplexação das saídas do transmissor em um circuito ou fieldbus, em vez de ligação dos transmissores através de circuitos individuais para a sala de controle. Para o conceito realizar seu potencial pleno, é necessária uma norma internacional para garantir que os transmissores de diferentes fabricantes sejam intercambiáveis e interoperáveis. Intercambiável significa que um transmissor de um fabricante pode ser substituído por um transmissor de outro fabricante sem qualquer alteração no sistema. Interoperável significa que um transmissor de um fabricante pode ser usado para substituir um transmissor de outro fabricante mas alguma reconfiguração do sistema é necessária. Desde 1985 tem-se feito esforços para desenvolver uma única norma internacional, mas neste período, foram desenvolvidas várias normas proprietárias e nacionais que competem e atrapalham o aparecimento da nova norma internacional.

3.3. Terminologia

Há uma falta de consistência na terminologia usada para descrever os vários atributos e características destes novos transmissores e portanto, no contexto deste trabalho são usadas as seguintes interpretações:

Sensor

Dispositivo que converte um parâmetro físico (por exemplo, pressão) em outro parâmetro (por exemplo, resistência elétrica).

Sensor primário é o sensor que responde principalmente ao parâmetro físico a ser medido.

Sensor secundário é o sensor montado adjacente ao primário para medir o parâmetro físico que afeta de modo indesejável a característica básica do sensor primário (por exemplo, os efeitos da temperatura na medição de pressão).

Transmissor

Instrumento, geralmente montado no campo, usado para sentir a variável do processo (e.g., temperatura) em um ponto onde ele está montado e para fornecer um sinal padrão (por exemplo 4 a 20 mA cc) que é uma função, geralmente linear, desta variável.

Transmissor smart é um transmissor em que é usado um sistema microprocessador para corrigir os erros de não linearidade do sensor primário através da interpolação de dados de calibração mantidos na memória ou para compensar os efeitos de influência secundários sobre o sensor primário incorporando um segundo sensor adjacente ao primário e interpolando dados de calibração armazenados dos sensores primário e secundário.

Transmissor inteligente é um transmissor em que as funções de um sistema microprocessador são compartilhadas entre

1. derivar o sinal de medição primário,
2. armazenar a informação referente ao transmissor em si, seus dados de aplicação e sua localização e
3. gerenciar um sistema de comunicação que possibilite uma comunicação de duas vias (transmissor para receptor e do receptor para o transmissor), superposta sobre o mesmo circuito que transporta o sinal de medição, a comunicação sendo entre o transmissor e qualquer unidade de interface ligada em qualquer ponto de acesso na malha de medição ou na sala de controle.

Fieldbus

Meio de comunicação único, (e.g., par de fio trançado, cabo coaxial ou fibra óptica), que transporta a informação (endereço, dados de controle e dados de parâmetros do processo) entre um número de transmissores, atuadores, controladores, indicadores e registradores.

Genericamente, fieldbus é um meio de comunicação de dispositivos de campo. Atualmente, há a Fieldbus Foundation que gerencia a aplicação do protocolo escífico chamado de Fieldbus.

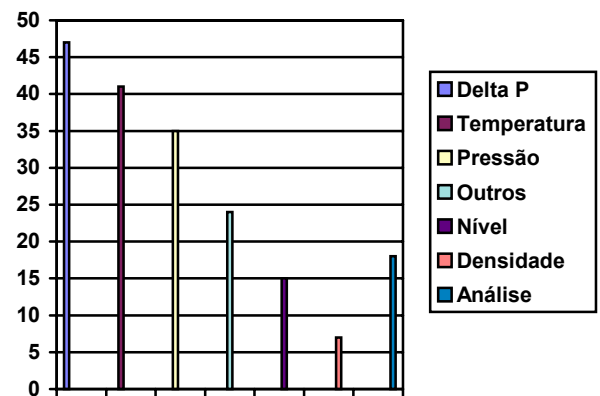



Fig. 7.11 Estatística de transmissores de processo

História

A faixa de sistemas de medição smart hoje em uso cobre uma grande variedade de aplicações mas as que são simultaneamente smart e inteligente tem sido desenvolvidas especificamente para uso em industrias de processo. Os tipos e números relativos de medições de processo variam de uma indústria para outra, mas a Fig. 7.11 mostra que as variáveis mais medidas são temperatura, pressão e pressão diferencial para vazão e nível, densidade e análise.

O principal desenvolvimento de transmissores smart tem sido concentrado em transmissores de temperatura, pressão e pressão diferencial. Para os transmissores de temperatura, são armazenados em sua memória os dados referentes às curvas

características de vários tipos de termopares, resistência de platina e outros sensores, para interpolação pelo microprocessador através da faixa selecionada do transmissor. Para os transmissores de pressão e de pressão diferencial, os dados de calibração relativos aos sensores primário e secundário são armazenados na memória para interpolação pelo microprocessador através de toda faixa selecionada do transmissor. Os transmissores de pressão diferencial são particularmente importantes porque metade das medições de nível e dois terços das medições de vazão são baseadas nesta medição, embora esta última proporção esteja declinando.

O segundo desenvolvimento importante aparece dos benefícios potenciais da possibilidade de comunicação com um instrumento remoto através do mesmo circuito que transporta o sinal de medição. Até então, nas indústrias de processo, os instrumentos eram considerados como dispositivos que eram localizados em posições remotas e ligados por um par de fios trançado para o ponto onde o sinal de medição era necessário. A tecnologia que possibilitava dois tipos de informação a serem comunicadas sobre o mesmo par de fios, sem interferência mútua, tem sido disponível, mas somente recentemente tem sido aplicada e explorada para medições de processo.

Tendo desenvolvido transmissores em que os microprocessadores são usados para melhorar o desempenho pela linearização das características básicas do sensor ou pela compensação das influências secundárias, é uma progressão lógica adicionar mais memória, de modo que outros dados, específicos ao transmissor em si, tais como seu tipo, número de série, tag de identificação, sejam armazenados no transmissor. O microprocessador pode ser usado para controlar uma facilidade de comunicação, de modo que a informação armazenada no transmissor possa ser interrogada via circuito de medição, em que ele está instalado e outras funções, tais como ajuste e reajuste de zero e largura de faixa, acesso dos dados relativos à aplicação, posição instalada e história do serviço possam ser implementados. O termo inteligente é usado para identificar o transmissor com tais facilidades.

O conceito de transmissores que não apenas fornecem um sinal de medição, mas são também capazes de comunicação em dois sentidos sobre o mesmo circuito provoca:

1. necessidade de uma norma que possibilite transmissores de diferentes fabricantes sejam intercambiáveis (tal como hoje se faz com os transmissores convencionais de 4 a 20 mA cc)
2. necessidade de uma norma que possibilite a exploração das facilidades melhoradas.
3. possibilidade de substituir os circuitos individuais entre os transmissores e as saídas de controle com um barramento (highway) de dados. O termo fieldbus é usado para descrever qualquer forma de barramento de dados que suporta a comunicação entre equipamentos de campo com a sala de controle.

Um fieldbus tem muitas vantagens sobre o sistema convencional de 4 a 20 mA cc, como:

1. reduzir os custos de fiação, comissionamento e manutenção
2. aumentar a versatilidade
3. melhorar a funcionalidade

Desde 1985 tem-se feito esforços para desenvolver uma única norma internacional, mas desde esta data, também foram desenvolvidas várias normas proprietárias e nacionais que competem para se tornar a norma predominante. A despeito desta situação confusa, a introdução de fieldbus provavelmente provocará uma grande melhoria e versatilidade nas indústrias de controle, junto com as tecnologias adjacentes tais como processamento de sinal, circuitos neurais, lógica fuzzy e matrizes de sensores. Um dos primeiros protocolos de comunicação de campo a ser explorado comercialmente com sucesso foi o Protocolo de Comunicação de Campo HART, desenvolvido pela Rosemount.

Um dos muitos problemas que existiram em grandes plantas de processo, é a variedade de transmissores necessários para satisfazer as exigências operacionais e o conseqüente alto custo de suas peças de reposição. Esta variedade é devida principalmente ao fato de os transmissores serem analógicos com ajuste de faixas limitado, de modo que são necessários muitos sensores diferentes. A introdução de um segundo sensor e o sistema de microprocessador aumentou grandemente a rangeabilidade e precisão dos transmissores, de modo que as medições de pressão e de pressão diferencial podem ser feitas por dois transmissores de cada tipo.

O padrão de transmissão atual de 4 a 20 mA cc forneceu uma base excelente para o desenvolvimento da instrumentação de processo nos últimos 30 anos. Suas vantagens incluem:

1. o sinal de medição não é afetado pelas variações de resistência da malha,
2. transmissores de diferentes fabricantes podem ser intercambiáveis
3. dentro de grandes limites, podem ser inseridos instrumentos de alarme, indicação, registro sem afetar a precisão da medição
4. a potência necessária para energizar o sensor e os circuitos condicionadores é fornecida com zero vivo, que é detectora de falha.

Porém, a transmissão de 4 a 20 mA cc tem a limitação de apenas comunicar o sinal de medição, que é transmitido do transmissor para a sala de controle. É um sistema de comunicação com um único sentido.

A influência dominante na evolução dos sistemas de medição de processo é a necessidade de reduzir o custo de propriedade. Custo de propriedade é o custo do instrumento em si, mais os custos de instalação, comissionamento, partida, calibração e manutenção subseqüentes. Os desenvolvimentos nos elementos sensores exploraram os métodos de CAD para melhorar as tecnologias de strain gauges com silício e a fabricação de microelementos sensores capacitivos e ressonantes. Estes progressos foram paralelos com os avanços dos microprocessadores de baixo consumo de potência e os conversores analógico-digital (A/D). Um modo de reduzir o custo de fabricação é reduzir o peso e tamanho dos componentes.

3.4. Propriedades e características

O uso da comunicação digital superposta ao sinal de medição 4 a 20 mA não somente possibilita a vantagem de usar o desempenho melhorado dos sensores mas também permite uma grande faixa de informação a ser extraída do transmissor, sob pedido, e ajustes feitos para o modo de operação.

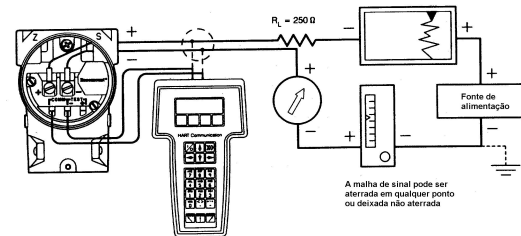



Fig. 7.12. Diagrama da saída de 4 a 20 mA

Os atributos e características dos transmissores smart e inteligente são mostrados adiante, mas os detalhes podem diferir de uma fabricante para outro, bem como de um tipo para outro de transmissor. A maioria das características ou atributos do transmissor inteligente pode ser endereçada de um terminal portátil (*handheld*), chamado de comunicador ou interface *handheld* ou de uma outra interface da sala de controle.

Linearização e caracterização do sensor

A presença de memória e a capacidade de computação no transmissor permitem o sinal ser condicionado antes de ser transmitido. Por exemplo, o sinal do sensor primário pode ter uma relação não linear conhecida com a variável medida. Os exemplos mais comuns são os sensores de temperatura a termopar e a RTD e a relação raiz quadrática entre a vazão e a

pressão diferencial gerada pela placa de orifício ou outro sensor gerador de pressão diferencial. Assim, a informação da calibração real do transmissor pode ser armazenada na memória e usada para melhorar a precisão do sinal de saída.

Nos casos onde o sistema de medição compreende dois instrumentos separados como um elemento sensor e um transmissor separado com a unidade de computação, as constantes do sensor primário entram na unidade de computação do transmissor, de modo que qualquer unidade pode ser trocada.

Além destas manipulações puramente matemáticas com os dados originais, também podem ser feitas medições internas auxiliares em linha da pressão e temperatura para permitir a correção da saída dos efeitos destas quantidades sobre o desempenho do transmissor. Esta é uma atividade separada da correção da medição resultante para variações nas propriedades do fluido com a temperatura ou pressão, embora alguns instrumentos possam permitir acesso a estas medições auxiliares sobre a linha de comunicação de modo que eles possam ser usados externamente para este objetivo.

O fornecimento de sinais linearizados e corrigidos para um sistema de controle significa que não há necessidade de se fazer estas computações enfadonhas e o tipo de transmissor montado em um determinado local não tem importância para o sistema de controle, desde que se possa assumir que o sinal recebido sempre será linearmente representativo do parâmetro do processo.

Inclusão de funções de controle e outros algoritmos

Os microprocessadores usados em transmissores smart ou inteligente são mais do que capazes de fazer as computações relativamente simples envolvidas no controle liga desliga ou PID e alguns instrumentos fornecem esta característica. A sintonia da malha é feita através da linha de comunicação.

Medição em unidades de engenharia

Há vários modos de se conseguir isso:

1. Ajuste do sinal de 4 a 20 mA cc. Usando os ajustes de zero e de largura de faixa, é possível conseguir que uma variação de 1 mA no sinal de saída corresponda a uma dada variação na quantidade medida. Isto é particularmente útil em aproveitar registradores e indicadores existentes.
2. Comunicação digital. É geralmente possível estabelecer o escalonamento de um instrumento de modo que a variável medida (por exemplo, vazão) mostrada no comunicador portátil ou no display do operador apareça em unidades desejadas ou especificadas da medida, com o símbolo da unidade no SI (por exemplo, 7,5 kg/s). Isto pode ser estabelecido independentemente do escalonamento do sinal de 4 a 20 mA cc e evita erros de cálculo pelo operador quando converte percentagens de vazão para unidades de engenharia.
3. Saídas de pulso para totalização. Muitos medidores de vazão têm a opção de saída de pulso em uma freqüência proporcional à vazão. Estes pulsos podem ser contados externamente ou no instrumento em si para fornecer uma indicação da vazão totalizada. O escalonamento desta saída pode ser escolhido de modo que o intervalo entre os pulsos represente um volume ou massa específica do fluido. Esta característica é útil pois permite o uso de simples contadores para indicar o total e permite uma freqüência de pulso conveniente seja escolhida para os contadores eletromecânicos.
4. Características de falha-segura. Todos os medidores de vazão inteligentes fornecem algumas rotinas internas de diagnóstico e identificam os problemas. Em alguns instrumentos, pode ser possível especificar o que aconteceu com a saída sob certas condições de falha, por exemplo, ir *para 3,9 mA* ou *manter o último valor*.

Fig. 7.13. Transmissor inteligente (Foxboro)

Há um medo generalizado de que estes instrumentos mais complexos possam falhar mais freqüentemente do que os instrumentos analógicos similares. Porém, quando eles falham, muito mais informação acerca da natureza da falha é disponível. Estes instrumentos complexos têm sido disponíveis em serviço para um período suficiente de tempo para estabelecer a vista que é mais próxima à realidade.

Ajuste de span e de zero

Esta característica permite o uso da faixa total do sinal de saída analógico (usualmente 4 a 20 mA cc) para uma faixa que é menor do que a faixa total de medição do sensor primário. É usualmente empregada para alterar a largura de faixa sem alterar o zero, mas um zero suprimido pode ser útil quando a variável de processo deve ser controlada rigorosamente em torno de um valor especificado e não há interesse nos valores da variável do processo fora desta faixa estreita. Obtém se um controle melhor por causa dos erros de ruído e de quantização na saída irão representar menores alterações na variável.

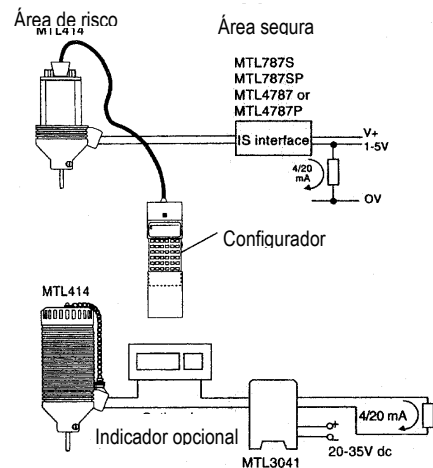



Fig. 7.14. Instalação do transmissor inteligente com barreira de segurança intrínseca (MTL)

Mais comumente, isto é usado para permitir o mesmo instrumento ser usados para medir faixas estreitas ou largas e tem especial importância quando a característica de transferência do sensor é não linear, como na medição de vazão com placa de orifício.

Antes do advento dos transmissores inteligentes, um sistema de medição de vazão com placa de orifício, para uma rangeabilidade de 20:1 podia requer três transmissores de pressão diferencial convencionais, com superposição de faixas. Um transmissor inteligente pode, hoje, fornecer as mesmas saídas analógicas mas com comunicação digital do ajuste de faixa. Em geral, esta característica é somente necessária se uma saída analógica é necessária, desde que uma representação digital da pressão diferencial é também disponível do transmissor e ela não requer nenhum ajuste de zero ou de span. Um resultado importante desta versatilidade que se aplica a todos os transmissores inteligentes é que um modelo pode ser configurado para tratar de uma grande faixa de aplicações de modo que poucos tipos e faixas de transmissores devem ser mantidos como reservas em uma planta de processo.

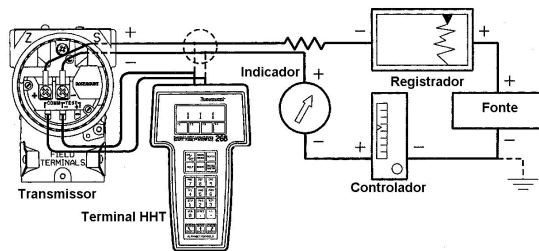



Fig. 7.15. Ligação do transmissor em uma malha de medição (Fisher - Rosemount)

Ajuste de amortecimento, tempo de reposta e constante de tempo

Muitos transmissores fornecem seleção de amortecimento, constante de tempo e tempo de resposta para permitir flutuações da variável medida ou redução do ruído eletrônico no sinal de saída. Muitos fabricantes usam um filtro que pode ser representado por um simples atraso, mas alguns usam um filtro adaptativo com diferentes respostas para variações pequenas e grandes.

A seleção de uma grande constante de tempo produz um sinal de medição lento e suave mas pode mascarar os distúrbios de instabilidade na variável de processo. Quando o sinal de medição está sendo usado como entrada para uma malha de controle de vazão, uma grande constante de tempo pode tornar a sintonia da malha mais difícil. Variando a constante de tempo certamente afeta a sintonia e resulta em controle ruim ou instabilidade.

Rotinas de diagnóstico e status

Há dois tipos de informação, um relacionado com o status normal do instrumento e o outro fornece diagnose de falha ou condição anormal do processo. Ambos são de interesse da manutenção da planta e devem ser considerados juntos.

Exemplos de informação do status podem ser:

1. modelo e número de série do transmissor
2. variável principal e unidade de engenharia
3. faixa e constante de tempo de amortecimento do transmissor
4. variável principal correspondendo a 4 a 20 mA cc
5. número de tag de identificação na planta
6. materiais de construção das partes molhadas
7. número de revisão do software
8. data da última calibração.

A habilidade de chamar esta informação ajuda em manter atualizado o programa de manutenção da instrumentação da planta, que pode ser verificado por questões reais para garantir que tipo, faixa do equipamento montado na planta está em linha com os registros da planta bem como com as necessidades operacionais. Algumas destas informações de status, tais como número do modelo, serial e materiais de construção, onde isto é crítico, são permanentes. Outros detalhes são entrados ou modificados quando o transmissor é instalado ou removido do serviço.

A informação de diagnóstico é relacionada com a operação real do transmissor e se altera muito mais freqüentemente. Algumas rotinas de diagnostico evitam a entrada de informação discrepante de configuração (por exemplo, o valor medido correspondente a 4 mA ser maior do que o 20 mA). Outras informações avisam situações inesperadas, tais como vazão reversa e outras podem reportar falhas internas nos circuitos eletrônicos, tais como falha de escrever em um local de memória.

Muitas destas rotinas rodam continuamente e estabelecem avisos assim que aparece uma falha. Outros podem requer ação do operador no comunicador Portátil ou na interface da sala de controle, tornando possível a verificação da operação do transmissor sem deixar a sala de controle.

4. Instrumentação virtual

4.1. Definição

Um instrumento virtual é definido como

> *Uma camada de software, hardware ou de ambos, colocada em um computador de uso geral de modo que o usuário possa interagir com o computador como se fosse um instrumento eletrônico tradicional projetado pelo próprio usuário.*

Do ponto de vista do usuário, é muito difícil ver rapidamente as diferenças entre os pacotes de software. O que se vê na tela do computador não dá imediatamente um entendimento da filosofia de base. Diferente de um hardware, em que se pode *abrir a caixa e olhar dentro*, a arquitetura no software é abstrata e não é imediatamente visível para um olho nu.

Para dar um exemplo, quando se tem um computador pessoal com um circuito de aquisição de dados embutido, que instrumento virtual pode ser construído? Para um eletricista, o instrumento poderia funcionar como voltímetro, osciloscópio, digitalizador ou mesmo um analisador de espectro. Para um instrumentista ou operador de processo, o instrumento pode funcionar como indicador, registrador, controlador ou chave de atuação.

A única diferença entre o instrumento convencional e o virtual é o software e por isso tem se a idéia que *o software é o instrumento*.

4.2. Passado e Tendências Futuras

Para apreciar como as várias partes de um instrumento virtual se juntam, é importante rever como a instrumentação evoluiu até o estado presente. Na evolução da instrumentação nos últimos 100 anos, é importante notar que os instrumento tem sempre alavancado a tecnologia usada na época. No século 19, o movimento de joalheria do relógio foi usado para construir instrumentos analógicos. Nos anos 1930, o capacitor variável, resistor variável e válvula dos rádios foram usados para construir o primeiro instrumento eletrônico. A tecnologia do display da televisão foi usada em osciloscópios e analisadores. Hoje, os computadores pessoais contribuem para a computação de alto desempenho, display, captura e armazenamento de dados.

Os instrumentos também evoluíram em termos de flexibilidade e grau de integração aos sistemas. A primeira geração de instrumentos era de instrumentos analógicos, manualmente controlados de seu painel frontal. As medições deste tipo de instrumento deviam ser registradas manualmente. O usuário não tinha flexibilidade no projeto da interface ou na capacidade da medição.

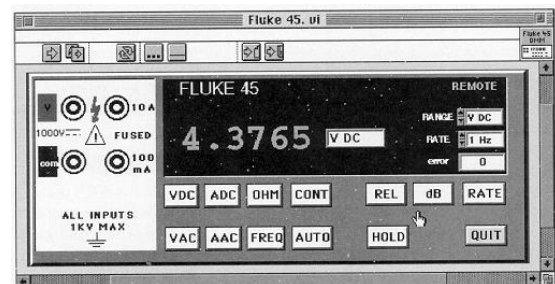



Fig. 7.16. Multímetro virtual (Fluke)

Com a invenção da interface (driver) de instrumentos, os sistemas puderam ser criados para serem controlados manualmente ou através de um computador. Cada instrumento era projetado para uma aplicação específica e um número de instrumentos era empilhado em um painel (*rack*) para completar o sistema de medição. Hoje, os instrumentos são uma combinação de computadores de uso geral, software gráfico, instrumento programável e digitalizador. Estes instrumentos modernos otimizam o desempenho usando programas baseados em registro, memória compartilhada e potência de processamento avançada. Os instrumentos modernos também combinam condicionamento e

roteamento sofisticados de sinal e gatilhamento inteligente. As principais vantagens que estes instrumentos dão ao usuário são:

1. alta potência
2. facilidade de desenvolvimento
3. facilidade de reconfiguração para tarefas diferentes

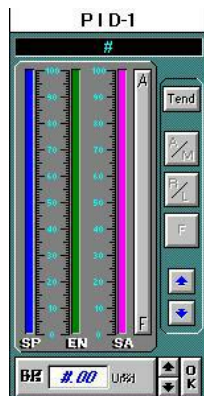



Fig. 7.17. Controlador virtual

Outro aspecto da tecnologia que permite o uso de computadores pessoais na instrumentação é a padronização dos componentes usados para fazer o sistema. Praticamente, todos os componentes, do barramento I/O e os barramentos de comunicação, até as mensagens que são passadas entre os subsistemas têm sido padronizados. No passado, os projetos proprietários levaram a sistemas fechados que atormentavam o integrador da aplicação e resultavam em sistemas que não se comunicavam ou interfaceavam com nenhum outro. Usando sinais padronizados por normas, o sistema fica facilmente elaborado para as necessidades específicas do usuário. Estas normas incluem:

SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments)

GPIB (IEEE-488/488.2)

VXI (IEEE-1155)

PC bus (IEEE-996)

O SCPI é um desenvolvimento interessante na instrumentação virtual, quando ele promete, finalmente, um conjunto comum de comandos para instrumentos relacionados, um conjunto comum de comandos para medições idênticas de instrumentos diferentes e um método para representar dados em um formato comum, o formato intercambiável de dados (DIF - Data Interchange Format). O DIF permite o desenvolvedor concentrar na aplicação, em vez de concentrar na comunicação com os instrumentos. Na ausência de uma grande disponibilidade de instrumentos SCPI, uma parte importante da do sistema com instrumentação virtual é o driver.

4.3. Progressão de Normas

As normas de instrumentação GPIB progrediram de IEEE-488.1 e IEEE-488.2 a SCPI. As normas IEEE-488.1 (1975), simplificam e padronizam a interligação da instrumentação programável definindo as especificações mecânica, elétrica e do protocolo GPIB. Antes da IEEE-48.1, cada fabricante tinha sua própria interface proprietária.

IEEE.488-2 manteve a norma IEEE-488.1 completamente intacta mas tornou os sistemas mais compatíveis e o desenvolvimento do programa mais fácil definindo

1. códigos e formatos de dados padrão,
2. modelo de reportar status,
3. protocolo de troca de mensagens,
4. conjunto comum de comandos para todos os instrumentos e
5. conjunto de exigências do controlador.

Como a IEEE-488.1 não endereçou estas tarefas, os fabricantes implementaram cada um destes itens de modo diferente, resultando em comportamento de programação complexo e imprevisível.

Em 1990, National Instruments, Brüel & Kjaer, Hewlett-Packard, Fluke, Keithley, Racal Dana, Philips, Tektronix e Wavetek formaram o consórcio SCPI como uma base para definir um conjunto de comandos simples, compreensível e conveniente para todos os instrumentos, SCPI também define um modelo para um instrumento.

Uma tendência padrão no desenvolvimento dos sistemas de

instrumentação virtual é a aceitação geral de digitalizadores e circuitos de aquisição de dados (DAQ) plug-in. A tecnologia de uso geral de conversão analógica-digital (A/D) está evoluindo rapidamente e diminuindo os custos. Digitalizadores de uso geral, se circuitos DAQ plug-in ou instrumentos externos programáveis, são a opção de instrumentação de maior crescimento porque digitalizam um sinal inteiro e fornecem a máxima flexibilidade e funcionalidade para a necessidade da medição.

4.4. Partes do Sistema

Na definição de um sistema de instrumentos, é útil aplicar um modelo do sistema, que é referido como a arquitetura padrão para a medição para a instrumentação (SAMI - *Standard Architecture for Measurement for Instrumentation*). O diagrama do modelo SAMI pode ser dividido em três áreas:

1. aquisição
2. análise
3. apresentação

O instrumento virtual define qual destas funções é desempenhada via cartão *plug-in*, instrumento isolado, software ou combinação deles. Embora a configuração geral de uma aplicação de medição e um sistema de instrumentação possam se parecer, a implementação e técnica de medição geralmente variam. O elemento de aquisição do sistema compreende:

1. condicionamento do sinal
2. chaveamento
3. mecanismos de gatilho
4. instrumentação para tomar a medição

A análise consiste do cálculo (estatística, filtro, spectrum de potência) e da formatação.

A formatação é um exigência muito comum de um sistema de instrumentação, quando instrumentos diferentes transmitem e recebem dados em uma grande variedade de formatos. Estes formatos necessitam ser convertidos antes dos cálculos serem aplicados.

A apresentação, armazenagem e cópia dos dados são a última parte do sistema. Isto pode consistir de uma simples mensagem do tipo passa/falha comum nos testes de produção e uma interface gráfica de usuário sofisticada.

Embora o modelo SAMI defina todas as partes do sistema de medição, ela não endereça a tarefa de como desacoplar o sistema operacional do software usado no desenvolvimento da aplicação. Isto é necessário se o usuário deseja manter sua fonte de aplicação inalterada, mas quer tirar vantagem de um sistema operacional mais novo e com maior desempenho ou se o usuário quer se mover uma plataforma totalmente nova. O movo normal para se conseguir isto é através de um conjunto de drivers comum.

Embora as diferenças do sistema operacional resultam em diferentes estratégicas para implementar o driver [por exemplo, MS Windows com *dynamic link libraries* .(.DLL) e sob MS DOS com *statically linked libraries* (.LIB) seriam normalmente usados], o esforço global do desenvolvedor do driver deve apresentar um conjunto consistente de chamadas para o driver para a aplicação. O driver é responsável pela

inicialização do equipamento,
comunicação com o equipamento,
alocação de fontes e
gerenciamento de memória
alocação de memória

Devido às diferenças nos sistemas operacionais, não há esquema de gerenciamento de memória consistente e os sistemas operacionais (MS DOS e Windows) colocam muita exigência no especialista de programação para acessar a memória de modo confiável.

Apostilas\Automação 21Inteligente.doc 26 MAR 99 (Substitui 31 JUL 96)

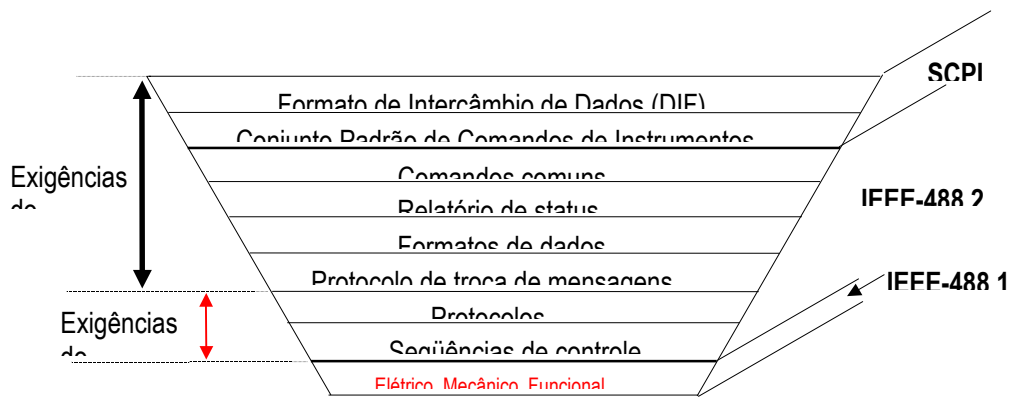



Fig. 7.18. Progressão de normas

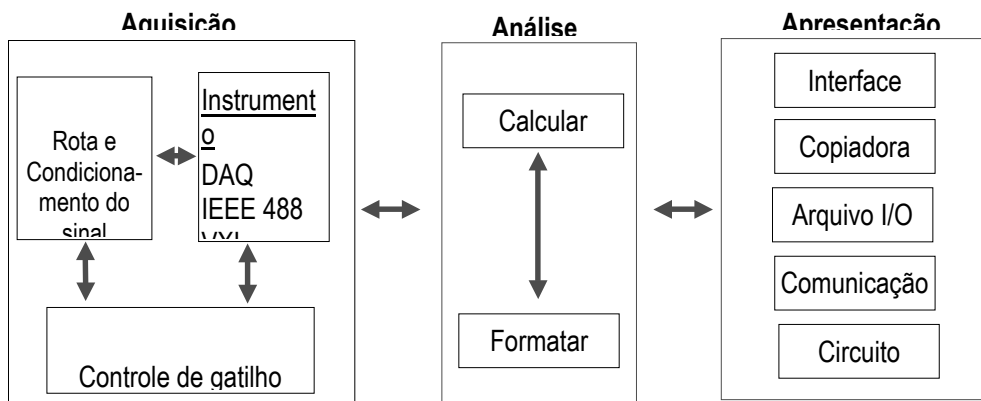



Fig. 7.19. Modelo SAMI (Standard Architecture for Measurement for Instrumentation)

8

Computador no Processo

1. Justificativas

Na década de 1950, apareceu o primeiro computador digital aplicado ao controle de processo. As primeiras instalações foram consideradas uma revolução virtual na tecnologia de controle e aqueles que não pensaram assim foram considerados pensadores negativos ou até técnicos obsoletos.

Uma nova tecnologia é usualmente desenvolvida para eliminar os problemas associados com o modo antigo de fazer as coisas. Porém, esta nova tecnologia inevitavelmente traz com ela seu conjunto próprio de problemas peculiares. A questão atual que se apresenta é: *as coisas estão melhores hoje, considerando-se todos os fatores, do que antes de se fazer a mudança?* Esta é a questão que tem de ser respondida quando se quer mudar um controle de local para a sala de controle, de pneumático para eletrônico, de painéis de instrumentos para consoles de vídeo, de analógico para digital, de sistema digital centralizado para distribuído.

A questão a ser avaliada pelo projetista do controle de processo é: *as coisas hoje estão melhores com o novo método e seus problemas do que antes, do modo antigo com seus problemas que já eram entendidos e já estavam sob controle?* A resposta a esta pergunta nem sempre é absolutamente positiva. O fato que alguém tem um bom resultado em sua aplicação não significa que isso irá acontecer em outra aplicação. As circunstâncias têm uma grande influência.

Entre as justificativas para se usar um computador digital no controle de processo, há dois argumentos que *não* são válidos:

1. O argumento do *estado da arte da revista*, que se não se tem um computador em linha controlando seu processo ou se não tem um plano definitivo para instalar um, então se está na rabeira da tecnologia e se está perdido para seu concorrente. Qualquer pessoa razoável percebe que este argumento é idiota. Computadores em linha são caros para se obter e se manter. Instalações de processo com computadores envolvem milhões de dólares, requerem pessoas com alto salário para manterem e atualizarem o sistema. Um computador não necessariamente faz um melhor trabalho de monitorar, avaliar e controlar do que um ser humano. O objetivo é operar de um modo mais lucrativo e não ter um negócio de ponta que as revistas publicam artigos sobre ele.
2. O segundo argumento é mais sutil mas ainda inválido. Se um computador digital faz *algum* trabalho de controle, o computador digital faz *todos* os trabalhos de controle. A primeira parte deste argumento é 99% correta. A segunda parte é errada. Ela exige que o projetista do controle de processo consiga o melhor equipamento ou sistema para o trabalho.

O campo de controle de processo parece atrair regras de bolo. Elas são usadas extensivamente por pessoas que são desinformadas ou que não estão inclinadas a gastar esforço ou dinheiro para fazer o trabalho certo. Todas as

regras de bolo devem ser tratadas com restrição, todas exceto uma, que é provada ser verdade sempre: *Simplicidade e confiabilidade andam juntas*. Assim, a melhor decisão do projetista é optar pelo modo mais simples de conseguir os resultados desejados na medição e no controle. Computadores digitais não são os equipamentos mais simples.

Especialistas em controle de processo com computador afirmam que o computador opera em tempo real. *Que tipo de tempo é este?,* é a reação de muitos instrumentistas. Este é apenas um exemplo de um jargão de computador que caracteriza a chegada dos computadores digitais no controle da planta. Muito instrumentista tem dúvida do significado de *tempo real*. Um sistema que funciona em tempo real processa sua informação de entrada tão rapidamente quanto a informação entra no sistema. Lembrando que o computador de processo tem entradas que são medições do processo e que regularmente alteram seus valores, o sistema do computador age sobre um novo valor de qualquer entrada imediatamente. Ele não põe o novo valor na memória até que ele possa tratar dele.

Às vezes, é fácil justificar a viabilidade econômica do uso do computador. Por exemplo, seja uma planta que produz 10 milhões de litros de um produto por dia, com um valor de $0,20 por litro. O valor da produção diária da planta é de $2 milhões por dia. Os proponentes do projeto do computador podem dizer, corretamente, que o uso do computador otimiza o processo e haverá um rendimento de 1%, logo o computador irá ganhar $20.000 por dia. Nesta proporção, se o custo do computador for de $1.000.000 (bem conservador), ele se paga em 50 dias. Qualquer gerente irá aprovar um investimento com este tipo de retorno e o projeto do computador se torna uma realidade.

O problema é que depois que o computador está finalmente em funcionamento, depois de ter sido *debugado*, vários meses mais tarde, ninguém vai verificar se a promessa de 1% da produção se realizou. Raramente isto pode ser demonstrado, desde que a produção na maioria das plantas com grande saída é mais sensível a falhas mecânicas e erros de operação do que a qualquer otimização que um computador possa oferecer.

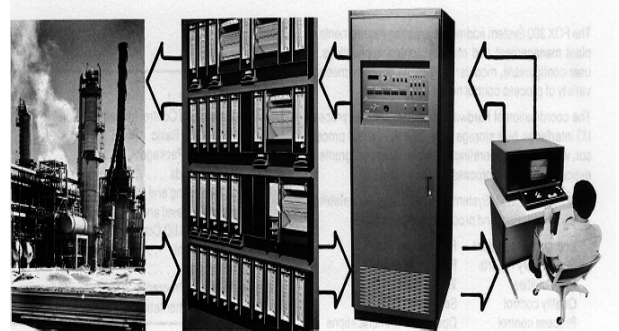



Fig. 7.1. Planta com computador

2. Aplicações típicas

Há algum benefício real a ser obtido de computadores de controle de processo quando eles são aplicados em circunstâncias certas. As aplicações bem sucedidas geralmente incluem: lógica, controle avançado, monitoração de alta velocidade, partida e desligamento com computador e otimização do controle.

2.1. Lógica

Uma das mudanças mais significativas que ocorreram em controle de processo é o aumento do uso de lógica programada. O termo **lógica** significa aqui:

1. Matemática em linha: adição, multiplicação (escalonamento), extração da raiz quadrada, elevação ao quadrado e geração de função para linearizar relações não lineares. A habilidade de fazer matemática em linha tem uma grande vantagem em que ela torna possível monitorar e até controlar variáveis de processo que não podem ser medidas diretamente mas que podem ser computadas de outras variáveis medidas. Exemplos são circulação catalítica e eficiências de caldeiras e queimadores
2. Estabelecimento de limites em variáveis e sinais que as representam. Isto significa

medições, saídas de controlador, pontos de ajustes, diferenças entre o valor real de uma variável de processo e seu ponto de ajuste.

3. Seleção de variáveis. Selecionando o valor maior e o menor ou médio de mais de um sinal determinado para indicação, registro, alarme ou controle.
4. Movimentos condicionais. Se uma variável particular é maior ou menor que outra variável, então uma chave muda sua saída para fins de alarme ou controle.

Quando se observa um diagrama P&I de um sistema de controle de caldeira é fácil ver que se tem muito controle lógico e pouco controle PID. A lógica é mais fácil de ser feita por circuitos digitais do que por cadeias de módulos analógicos. A lógica é mais fácil de ser estabelecida e alterada, quando é feita por programação. Alterações de lógica feita por módulos analógicos requerem a adição ou retirada de módulos, com modificação da fiação correspondente. Finalmente e o mais importante: a lógica em um sistema digital é mais confiável porque ela nunca perde sua precisão.

Desde que o controle PID pode ser feito digitalmente e quando a lógica predomina sobre o controle analógico em todo o esquema da planta, então um sistema totalmente digital é provavelmente a melhor escolha.

2.2. Controle Avançado

O sistema de controle com realimentação negativa não pode manter a variável controlada sempre igual ao ponto de ajuste. Ele pode apenas trazer a medição de volta ao ponto de ajuste depois que o sistema teve um distúrbio. Um sistema de controle a realimentação negativa dá resultado satisfatório se

1. Os distúrbios são mínimos em tamanho e número ou se eles se distribuem sobre um longo período de tempo. Isto é outro modo de dizer de que os distúrbios não são grandes ou repentinos.
2. O sistema de controle tem um curto período de oscilação e portanto um pequeno tempo de recuperação. Sob estas circunstâncias, os distúrbios não são realmente um problema porque o sistema de controle pode rapidamente compensá-los.

Porém, quando está ausente uma destas condições, o sistema de controle à realimentação negativa tem um desempenho ruim e é necessário usar um esquema de controle mais elaborado. Estes esquemas mais elaborados de controle são chamados genericamente de *controle avançado.*

Uma característica de todos esquemas de controle avançado é que eles requerem a capacidade de computação em linha. Pode-se dizer, portanto, que o advento do computador digital em linha tornou possível o uso de métodos de controle que não eram disponíveis antes. Desde que tais esquemas sejam corretamente projetados e sintonizados, tem-se uma melhora considerável no desempenho dos sistemas de controle.

Uma estratégia útil de controle, especialmente no caso de controle de fracionadores, é usar o computador para fazer balanço de materiais e energia do processo. Quando este método é usado, o computador é fornecido com um modelo do processo, do qual o computador pode calcular as alterações necessárias das variáveis manipuladas, em função dos distúrbios que afetam as variáveis controladas. As variáveis distúrbios e as manipuladas são todas medidas e se tornam entradas para o computador. Este esquema de controle é chamado de preditivo antecipatório (feedfoward).

2.3. Monitoração de Alta Velocidade

Por razões de rendimento, o tamanho ótimo das plantas tem aumentado e, paralelamente, o tamanho e custo das máquinas usadas nestas plantas. A produção contínua de produtos de alto valor muitas vezes depende do desempenho de grandes e caras bombas, compressores, motores, esteiras e outras máquinas de operação contínua. Outros equipamentos de processo podem não se mover mas também consomem grandes quantidades

de energia cara. Algumas máquinas são tão caras que não é prático ter uma sobressalente.

Para evitar paradas e perdas resultantes de produção, a operação do equipamento deve ser continuamente monitorada. Esta monitoração é conseguida pelo ser humano através da ajuda de indicadores e registradores. Esta monitoração deve ser constante, contínua e embora pareça inútil ela é necessária para conseguir a sobrevivência de equipamentos caríssimos.

Um sistema de monitoração baseado em computador digital é uma solução prática, porque pode-se observar variáveis importantes na base de fração de segundo. Seus valores podem ser comparados com limites de segurança programados e o alarme pode ser acionado para chamar a atenção do operador para qualquer ocorrência anormal. Mais ainda, os valores passados podem ser armazenados e uma tendência pode ser computada como guia para a seriedade do desenvolvimento de uma situação ruim. Finalmente, se ocorrer algum acidente, o computador possui dados armazenados que podem levar à determinação da causa real.

2.4. Partida e desligamento com computador

Enquanto as capacidades de otimização de computadores supervisórios em linha para otimização do controle do processo foram bem desenvolvidas e aplicadas, pouca atenção parece ser dada ao uso possível em supervisão de partidas e paradas de plantas. Isto parece curioso, especialmente porque durante a partida e parada da planta, quando as variáveis estão em transitórios, há ocorrência dos maiores problemas. As refinarias e plantas petroquímicas ainda parecem partir e desligar seus processos confiando apenas no conhecimento e habilidade seus operadores de processo, assistidos por manuais de instruções que estão guardados nas gavetas da mesa do operador.

Um computador em linha pode visualizar um procedimento de partida em que toda a seqüência de partida é programada, passo a passo. O computador pode mostrar os passos a serem tomados, em sua seqüência, um passo por vez. Nenhum passo é realizado até que o precedente tenha sido feito corretamente e verificado por uma entrada manual do operador ou por um sinal que o computador recebe diretamente do processo.

Além disso, o computador continuamente verifica o processo, não apenas os valores das temperaturas, pressões, vazões e níveis do processo, mas também as posições corretas das válvulas críticas e as operações de equipamentos críticos. No caso de algo não acontecer como o programado, o computador supervisório alerta o operador ou mesmo aborta a partida.

Quando a operação de partida se completa e a unidade está em linha, o computador contém a documentação completa do ocorrido. Um procedimento assistido por computador produz partidas e desligamentos mais seguros.

2.5. Otimização do controle

As primeiras aplicações de computadores digitais para controle de plantas de processo em tempo real foram tentativas ingênuas para mover computadores projetados para negócios de escritório em um ambiente industrial. Os esforços não foram bem sucedidos. Os computadores que eram usados por delicadas e lindas secretárias, com um toque gentil do teclado em um escritório limpo e com ar condicionado não ficaram muito felizes quando colocados na área industrial, para serem operados por pessoas com grandes dedos sujos, às vezes dentro de luvas mais sujas ainda e escutando impropérios porque as coisas não aconteciam como deviam. Estes computadores também não gostaram de serem sujeitos a pó ou traços de ácido sulfídrico, cloro ou outros contaminantes que estavam presentes na atmosfera. Como resultado, o controle do processo feito pelo computador se deteriorava em curto intervalo de tempo.

3. Configurações

3.1. Computador fora da linha

A aplicação mais simples e prosaica do computador é ele desligado do processo, como na Fig. 7.2. O computador recebe todos os dados pertinentes ao processo através de um operador humano e os resultados de suas computações são também aplicados ao processo através de um operador humano. Os dados do processo são lidos dos instrumentos, transcritos em folhas de relatórios e são armazenados em dispositivos manipuláveis pelo computador, como disquetes flexíveis, fitas magnéticas ou cartões perfurados.

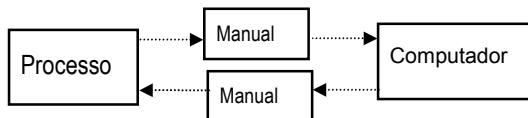



Fig. 8.2. Modo off-line, coleta manual de dados (linha pontilhada indica manipulação manual)

Embora aparentemente essa aplicação possa ser considerada pouco útil, ela é muito usada. Ela é justificada quando as considerações de tempo de resposta o permitem e a manipulação manual dos dados é uma operação simples e barata.

As aplicações típicas de computador digital fora de linha do processo são: simulação de processo, analise de processo, investigação de projeto, relatórios de produção e testes de aplicações novas.

Uma versão mais evoluída, Fig.8.3, seria o recebimento direto dos dados em um equipamento que os complicasse e os transformasse numa forma aceitável pelo computador. Mesmo assim, a alimentação dos dados ao computador é feita manualmente. De qualquer modo, a operação fora de linha do processo envolve a acumulação dos dados, que são levados e processados no computador, após um atraso. Em linguagem que os instrumentistas entendem, é um processo descontinuo, tipo batelada.

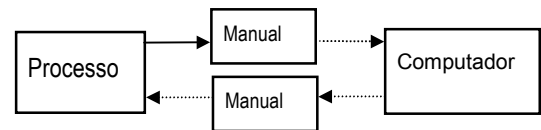



Fig. 8.3. Off-line, coleta automática de dados (linha sólida indica transmissão automática)

3.2. Computador com entrada em linha e saída manual

Nesta aplicação, os dados entram no computador de modo continuo, porém, ainda através do operador, por meio do teclado inteligente do console do computador, Fig.8.4. Ainda não se quer ou não se pode entrar com os dados do processo diretamente ao computador. Ou seja, não há elementos sensores, não há equipamento para converter os sinais analógicos em digitais ou é necessário o sensor humano.

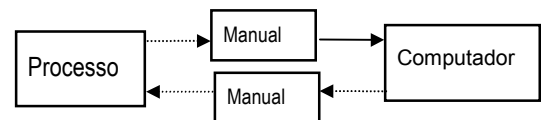



Fig. 8.4. Computador com entrada em linha do processo e com saída manual

É uma aplicação de tempo real, ou seja, há uma relação estreita entre as atividades do computador e do processo. Nesta aplicação, o computador deve ser interruptível, de modo que a informação gerada o seja de modo aleatório, assim como são aleatórios os eventos do processo. O processamento do computador é instantâneo e a saída do computador é usualmente apresentada em forma de relatórios impressos ou leituras de painel através de tubos de vídeo.

3.3. Computador com entrada e saída em linha

As aplicações que não podem tolerar os atrasos e erros dinâmicos inerentes à manipulação manual dos dados de entrada requerem um modo de controle mais automático. Nesta configuração, o computador está totalmente em linha com o processo. (Fig. 8.5) Suas entrada e saída estão ligadas direta e fisicamente ao processo, para receber e transmitir sinais de informação, sem a intervenção humana ou com atrasos. Isto significa que o computador digital tem a capacidade necessária de receber sinais analógicos dos instrumentos do processo. As ações de controle, calculadas e recomendadas pelo computador, são aplicadas diretamente ao processo.

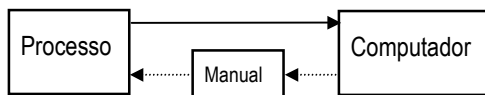



Fig. 8.5. Modo on-line, malha aberta

3.4. Computador centralizado

As aplicações de computadores digitais para controle e em linha com o processo também percorreram o mesmo caminho feito pela própria instrumentação.

Historicamente, o primeiro uso do computador foi para a simples aquisição de dados do processo, sem intervenção direta no controle, Posteriormente, o computador foi usado para estabelecer e modificar o ponto de ajuste dos controladores.

Finalmente, o computador faz parte da malha de controle, atuando diretamente nos elementos finais de controle.

O uso do computador centralizado só pode ser economicamente justificado pela sua capacidade de executar diferentes tarefas ou a de compartilhar o controle de diferentes partes do processo. Quando aplicável, o computador deve executar todas as funções de controle e de computação matemática, com os dados condicionados em módulos de entrada/saída (I/0).

3.5. Aquisição de dados (*data logging*)

O computador serve apenas para receber e armazenar dados do processo. Os sinais provenientes do campo, geralmente vindo dos transmissores analógicos, são multiplexados e convertidos em digitais., Os sinais de controle são gerados convencional e continuamente pelos controladores analógicos, cujos pontos de ajuste são determinados pelo operador.

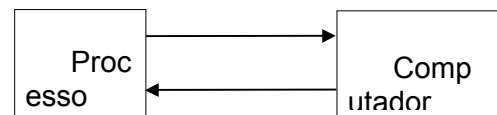
São periféricos do computador: painel de alarme, maquina impressora, console com teclado inteligente de maquina de escrever e com tubo de vídeo e sistema de memória de massa. As saídas do computador são em forma de alarmes no respectivo painel, relatórios impressos e indicações no tubo de vídeo. Adicionalmente e separado do computador, há ainda o painel com os instrumentos convencionais. O operador se comunica com o computador através de seu console, pelo teclado de escrever inteligente. Obviamente, o operador pode utilizar informações coletadas e elaboradas pelo computador para

modificar pontos de ajuste dos controladores convencionais. (Fig. 8.6).

Fig. 8.6. Modo on-line, malha fechada

Embora seja aplicação mais simples e a primeira a ser empregada, é aquela que é usada largamente ainda na atualidade.

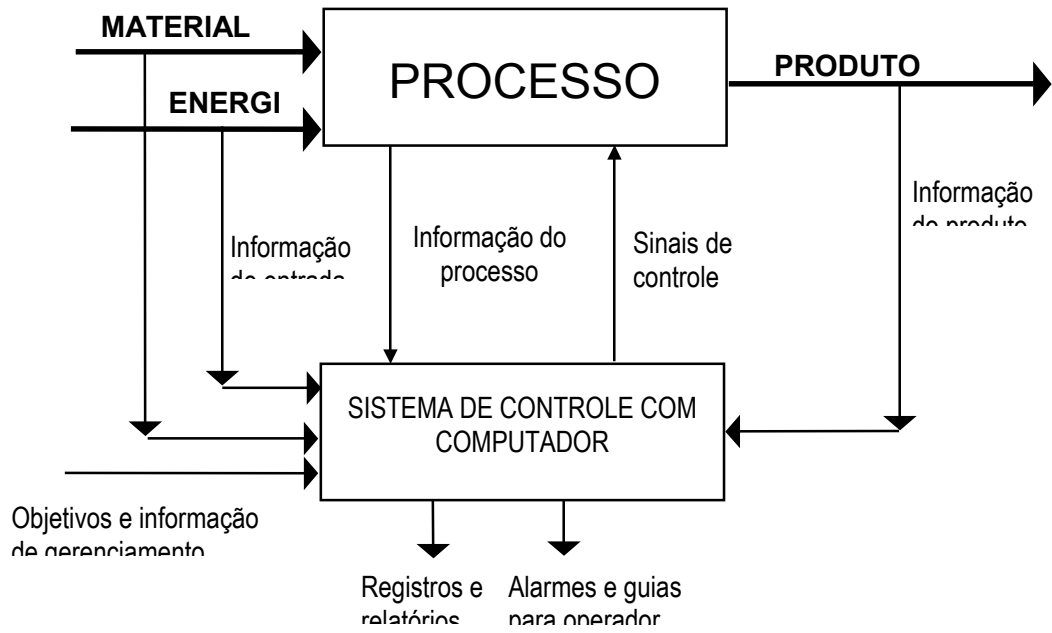



Fig. 8.7. Sistema de processo controlado por computador

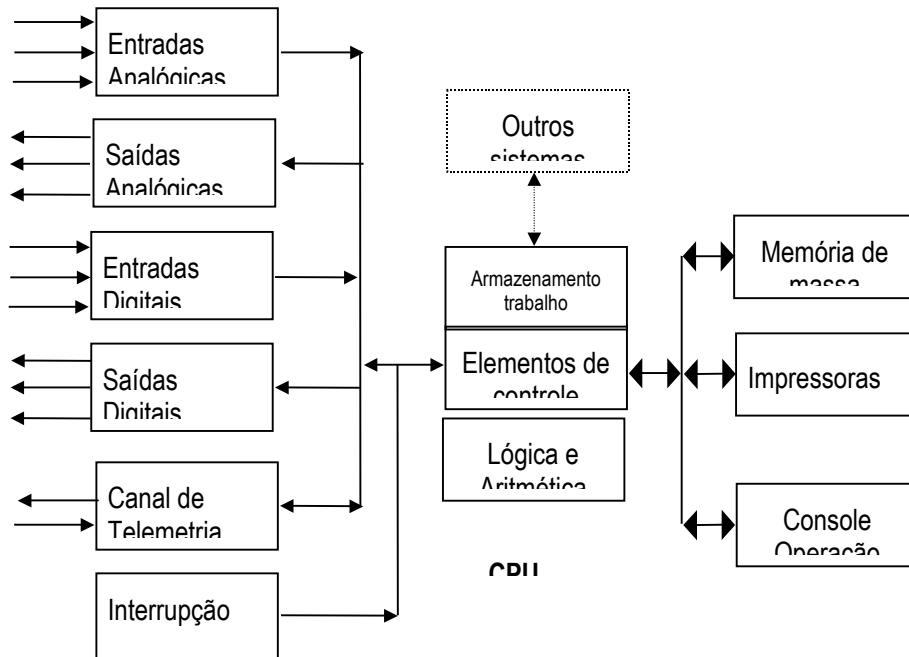



Fig. 8.8. Sistema de controle com computador

3.6. Controle do ponto de ajuste (SPC)

Alem de continuar fazendo o armazenamento e registro de todos os dados importantes do processo, o computador também faz contas matemáticas, baseando se nos dados de processo recebidos e em dados fornecidos pelo operador, para estabelecer os pontos de ajustes dos controladores. Os pontos de ajustes dos controladores analógicos são determinados e modificados continuamente pelo computador de controle do processo. Por isso, alem do nome de controle supervisório, tem também o de controle de ponto de ajuste (Set point control).

Como todas as malhas de controle do processo são analógicas, todos os sinais que saem e entram no processo devem ser analógicos. Porém, o computador só pode receber ou gerar sinais digitais. Desse modo, são necessários os seguintes dispositivos:

1) um multiplexador na entrada do computador, para passar de várias entradas para uma única saída,
2) um conversor A/D, para transformar cada sinal analógico em digital, para uso do computador digital,
3) um conversor D/A, para transformar cada sinal digital em analógico, para uso do processo analógico,
4) um demultiplexador na saída, para passar de um sinal para vários.

O conjunto de multiplexação, conversão A/D, conversão D/A e de multiplexação é chamado de modem (MODulador-DEModulador).

Os periféricos do sistema supervisório são exatamente os mesmos da configuração de Aquisição de Dados: painel de alarme, console com teclado e vídeo, sistema de memória de massa. Também há o painel com instrumentação convencional.

Tendo acesso a todas as informações de medição da planta, o computador, através de suas rotinas de otimização, estabelecia os pontos de ajuste ótimos de modo que as malhas de controle tivessem o melhor desempenho possível e como conseqüência, a planta tivesse o maior rendimento possível. Estes pontos de ajustes eram então devolvidos e indicados nos controladores de painel via interface, que agora convertia sinal digital para analógico.

Embora esta etapa tenha sido abandonada, ela teve três virtudes:

1. Se o computador parasse, o que realmente acontecia freqüentemente, a planta continuava operando através dos controladores analógicos. Assim, a parada do computador não era catastrófica. Simplesmente, na para as rotinas de otimização não eram usadas.
2. A decisão final de verificar se o computador estava fazendo a coisa certa de alterar o ponto de ajuste era do operador. Por meio de uma chave em cada controlador do painel, o operador podia selecionar a geração do ponto de ajuste, se feita pelo computador ou pelo próprio operador.
3. Podia-se usar o controle supervisório do computador digital em uma planta com instrumentação analógica pneumática. Esta aplicação requeria apenas alguns componentes adicionais para fazer a conversão pneumática para digital e vice-versa. É interessante notar que estas vantagens são ainda consideradas válidas hoje, mesmo no ambiente de controle sofisticado que atualmente prevalece.

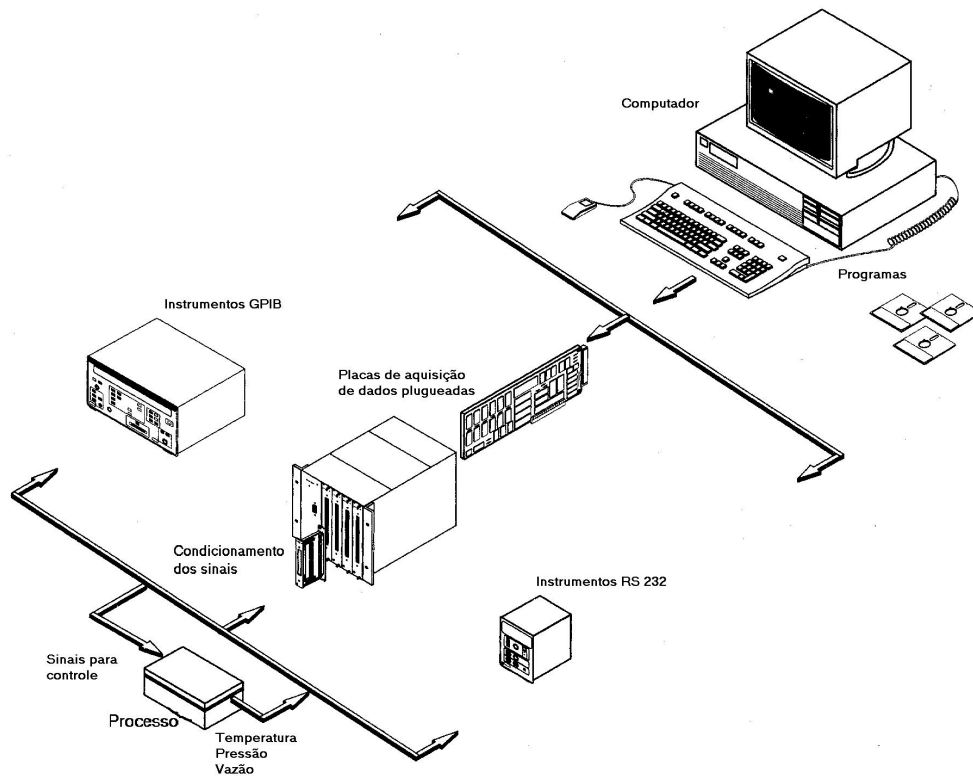



Fig. 8.9. Sistema com computador para aquisição de dados

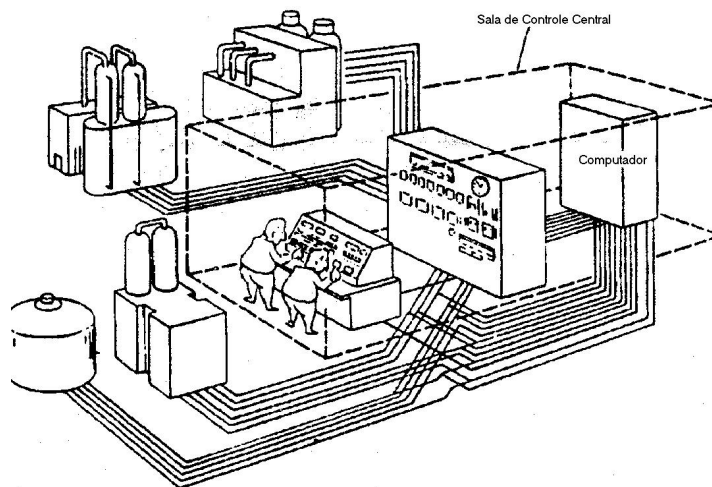



Fig. 8.10. Controle Digital Direto (visão geral)

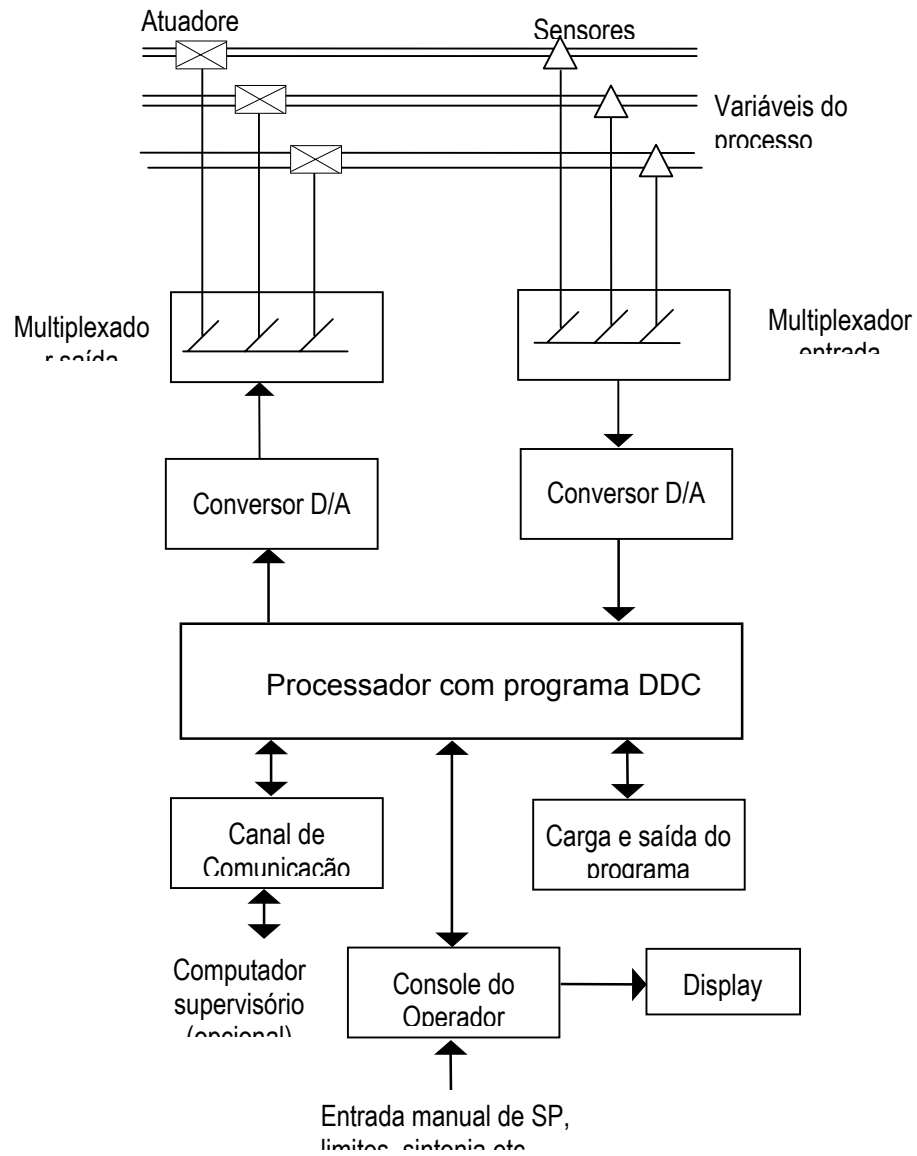



Fig. 8.11. Controle Digital Direto (esquema simplificado)

Considerando seus méritos, porque esta fase foi abandonada? Principalmente por duas razões:

1. A operação bem sucedida de todo o sistema com computador dependia do desempenho da interface. Nesta época, os instrumentos eram obtidos de um fabricante e o computador de outro diferente. Cada um achava que o outro devia aceitar a responsabilidade de projetar e construir a interface. Como resultado, a interface que era produzida geralmente era de qualidade questionável e isto afetava a confiabilidade do sistema.
2. Havia uma filosofia de desenvolvimento para operar a planta que era ineficiente. O modo correto era ter o operador sentado em freqüente do console, com todas as informações importantes disponíveis para ele na tela, em vez de ter o operador andando em frente de um painel que podia ter até 50 metros de comprimento. Por causa dos painéis de instrumentos, o controle supervisório com computador não foi aceitável.

A principal crítica a esse sistema de controle a computador digital é que o estabelecimento e modificação dos pontos de ajustes dos controladores são tarefas simples e geralmente desnecessárias em grandes períodos de tempo e portanto feitas adequadamente pelos operadores de modo manual. Ou seja, é pouco convincente e justificável a colocação de um sistema de saída de dados, através, de multiplexador, apenas para estabelecer novos pontos de ajustes dos controladores. No sistema de Aquisição de Dados, anteriormente mostrado, o computador poderia informar aos operadores quais e quando os pontos de ajuste deveriam ser modificados, sem a necessidade do sistema de conversão digital/analógica.

3.7. Controle digital direto (DDC)

No sistema com Controle Digital Direto o computador digital em si age como um controlador e seu sinal de saída vai diretamente para o elemento final de controle. (Fig. 7.11). No controle digital direto, o computador desempenha as funções de controle ou alternativamente, o computador tem o propósito principal, mas não exclusivo, de substituir um grande número de controladores convencionais.

O sistema completo é constituído de:

1. processo, com transmissores e elementos finais de controle.
2. sistema de aquisição de dados do processo, com um multiplexador e um conversor analógico/digital.
3. sistema de saída dos dados, com um demultiplexador e um conversor digital/analógico.
4. computador de controle digital.
5. periféricos do computador: painel de alarme, tubos de vídeo, console com teclado inteligente, painel convencional opcional, impressoras, memória de massa.

O objetivo da segunda aplicação do computador em controle de processo industrial era eliminar os painéis de instrumentos analógicos e a interface com do computador com o processo. Assim, todos os sinais de medição vinham diretamente para o computador, com a função de conversão analógica-digital e digital-analógica embutida no próprio computador. Tendo as medições do processo na forma digital, o computador aceitava os pontos de ajuste como entradas manuais através do teclado e calculava digitalmente a resposta de controle PID para cada malha de controle usando os algoritmos que estavam programados nele.

O computador também gerava gráficos que eram mostrados na tela, ao longo de qualquer informação que o operador chamava pelo teclado. Os sinais de saída que deviam ir para os elementos finais de controle eram convertidos da forma digital para analógica também pelo computador. Assim o painel instrumentos e a interface desapareceram e tudo importante era operado no modo digital. Este arranjo foi chamado de controle digital direto ou DDC.

Basta uma rápida olhada na estratégia de controle DDC para perceber um grande problema potencial. Como o computador faz todo o trabalho de controle para todas as malhas, então um defeito no computador faz com que todas as malhas de controle sejam passadas para controle manual ao mesmo tempo. Além disso, nenhuma indicação do processo fica disponível para o operador.

Mesmo assim, em alguns casos notáveis, os usuários do DDC usavam um segundo computador como reserva do primeiro. A filosofia era ter 20% das malhas de controle mais importantes ligadas aos dois computadores de modo que na falha de qualquer um dos computadores, o outro imediatamente assumia o controle destas malhas críticas. Em outros casos, as malhas críticas tinham backup de controladores analógicos montados em painéis auxiliares.

Estas despesas extras de backup eram difíceis de justificar. O que realmente acontecia é que as mesmas malhas de controle a realimentação negativa agora eram controladas digitalmente em vez de analogicamente. Ainda era um controle a realimentação negativa básico, com o mesmo processo em cada uma das malhas e o mesmo tempo de recuperação dos mesmos distúrbios.

A estratégia do DDC foi o resultado da intuição (errada) de que se alguma coisa é feita digitalmente, ela é feita do melhor modo possível. O especialista em instrumentação e controle de processo tem como tarefa e trabalho aplicar o equipamento e sistema de controle que faça o máximo para melhorar o desempenho de uma planta onde eles estão instalados.

Quando se deve usar um computador digital para melhorar o lucro de um negócio, então se deve colocar o computador para fazer aquilo que faz melhor: computar. O computador que gasta a maioria de seu tempo fazendo tarefas simples como converter sinais de uma forma para outra, gerar figuras para serem mostradas na tela do monitor, mostrar se uma válvula de controle deve ser fechada ou aberta ou se um alarme deve ligar ou desligar, ele não está justificando sua aquisição. Todas estas funções são muito simples e poderiam ser feitas por meios e equipamentos mais simples e baratos, como um Controlador Lógico Programável.

A principal desvantagem desse sistema é que, como o computador funciona como o controlador, pode-se perder todo o controle da planta, em caso de falha do computador. Mesmo que o computador seja muito confiável, é muita responsabilidade para um único equipamento. As soluções lógicas desse problema, com o uso de dois computadores, um como reserva do outro, embora possa satisfazer parcialmente, eleva duplamente os custos. E dependendo do tipo e local da falha, os dois computadores podem falhar simultaneamente. A outra solução, também com a redundância das funções de controle, é o uso de painéis com controladores convencionais e é também onerosa.

Outra desvantagem do computador centralizado - portanto valida também para o controle supervisório - é o seu alto custo. O computador, por sua função de tempo real e seus múltiplos propósitos, deve ser muito rápido e possuir grande memória, para poder controlar sozinho centenas ou milhares de malhas. Resposta rápida e memória grande, para um computador, são sinônimos de altíssimo custo.

A estratégia do DDC desapareceu quando apareceu o microprocessador, que tornou possível a terceira fase do computador, o sistema de controle a computador digital distribuído.

4. Sistema de controle digital distribuído (SDCD)

Em um sistema de controle digital distribuído, chamado abreviadamente de SDCD, é separado em módulos discretos, cada um tendo uma função específica. Um módulo de controle pode controlar várias malhas PID, além de fazer uma quantidade de lógica, como linearizar sinais não lineares ou gerar um alarme quando alguma medição do processo atingir valores limites. Outro módulo pode gerar as telas necessárias para a operação da planta (interface Homem-Máquina). Outros módulos regulam o fluxo de informação através de todo o sistema. Uma coisa que é comum a todos os módulos, porém, é que todos eles podem operar independentemente, por que a potência de processamento necessária para fazer suas funções está embutida em cada um deles. Isto é o que o microprocessador tornou possível. Antes da aplicação do microprocessador, a inteligência necessária para fazer estas funções requeria circuitos eletrônicos muito grandes, com numerosos componentes, gabinetes muito grandes e altíssimo custo.

Um sistema distribuído consiste de vários módulos, todos ligados juntos por meio de um barramento de dados ou *highway*. Uma falha de componente em cada um dos módulos prejudica o sistema, no máximo, somente naquele módulo que fica perdido. No mínimo, a falha pode resultar na pede de apenas uma função dentro do módulo.

Um ponto importante que não pode ser exagerado é que, desde que o sistema do computador é distribuído deste funcionalmente, ele também pode ser distribuído geograficamente. Isto significa que agora há uma alternativa para o conceito de uma grande sala de controle centralizada. Agora pode se ter várias pequenas salas de controle para cada unidade de operação. Todas as salas são interligadas juntas e os dados de processo de cada uma podem ser enviados, via barramento de dados, para um centro principal de operações para toda a planta.

As decisões de fazer o que deve ser feito para o bem da planta como um todo podem ser tomadas pelo centro principal (host), possivelmente suportado por um computador supervisório que também está ligado ao highway. Os resultados destas decisões, em termos de ação de controle, podem ser enviados de volta para o centro de controle apropriado e a malha de controle sobre o mesmo highway de dados, desde que o fluxo de informação seja bidirecional e ele o é, no SDCD

4.1. Filosofia

A filosofia do sistema de controle digital distribuído é a de dividir os equipamentos em vários módulos funcionalmente distintos: processo, controle, operação, gerenciamento e comunicação.

4.2. Interface com o processo

Foram desenvolvidos equipamentos para manipular diretamente os sinais provenientes do processo, inclusive com habilidade de gerar sinais de saída.

As principais características desses equipamentos são: padronização, flexibilidade e altíssima densidade dos sinais manipulados simultaneamente. Um único equipamento pode manipular simultaneamente até varias centenas do mesmo tipo padronizado de sinais. Os sinais típicos são: fechamento e abertura de contatos secos, sinais analógicos de corrente (4 a 20 mA), tensão (1 a 5 V), militensão de termopares dos tipos J, K, R, S, T, E, sensores RTD, pulsos de freqüência variável e até o prosaico sinal pneumático de 20 a 100 kPa.

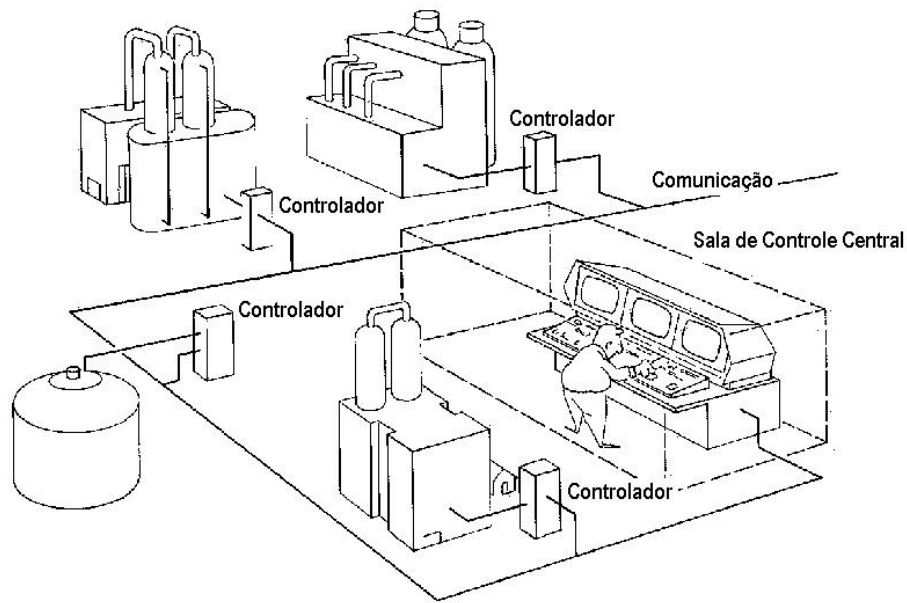



Fig. 8.12. Sistema Digital de Controle Distribuído (visão geral)

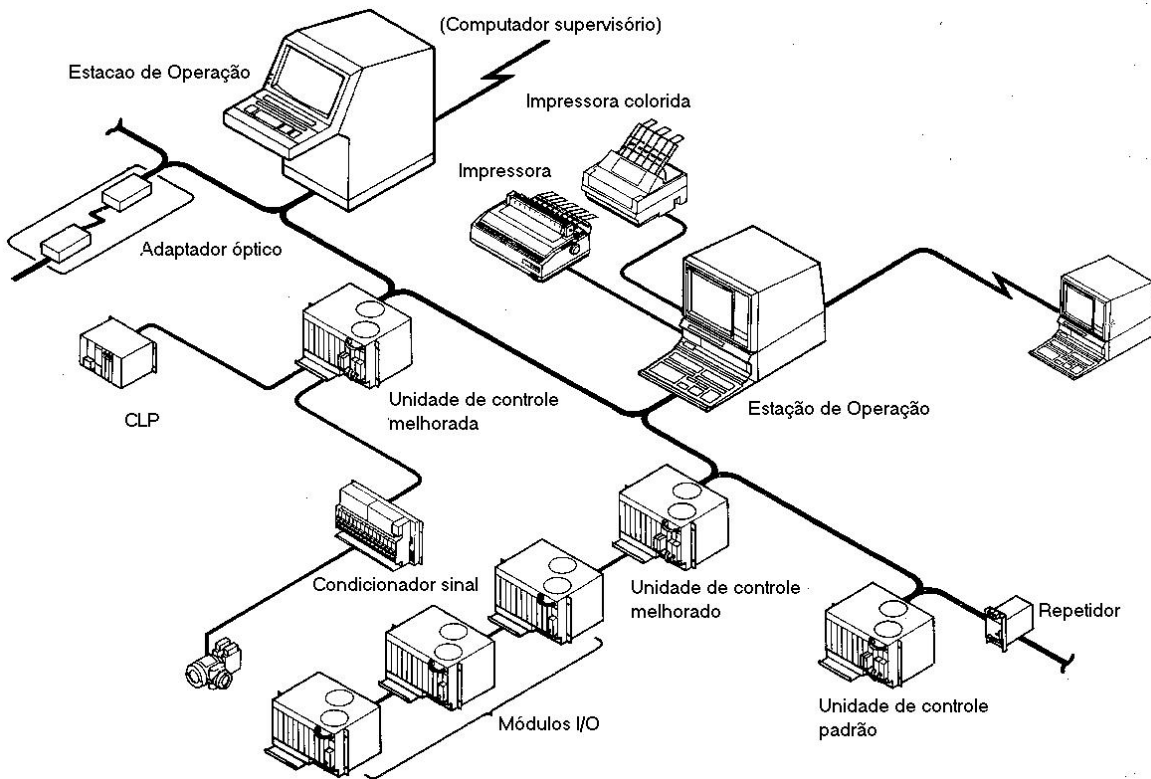



Fig. 8.13. Sistema Digital de Controle Distribuído (esquema simplificado)

4.3. Interface com o controle

O controle do sistema pode ser desempenhado por dois modos distintos:

1. malhas críticas são controladas convencionalmente por meios analógicos, incorporando estações de controle e painéis clássicos.
2. malhas que envolvem computação matemática, intertravamento, lógica e seqüencial são controladas por controladores a microprocessadores. Os algoritmos matemáticos e as interligações são feitos por configurações de blocos, através de programação do controlador digital. Isto torna o controle extremamente flexível e há uma grande economia de cabeamento.

4.4. Interface com o operador

A estação de trabalho centralizada para a operação é constituída de:

1. tubos de raios catódicos (CRT), coloridos e de alta resolução, onde o operador pode ter acesso ao processo em vários níveis: planta inteira, unidade parcial, grupo de malhas de controle e malha individual. Na tela podem ser simuladas as faces frontais dos "controladores", análogas às dos controladores convencionais, através de barras gráficas. Também através do tubo de vídeo o operador pode ver o diagrama esquemático do processo, com os equipamentos e instrumentos e ligações (P&I), como se fosse um painel semi-gráfico. Finalmente e muito importante, na tela podem ser mostradas as malhas em estado de alarme. Os tubos de vídeo podem estar localizados em painéis fisicamente separados.
2. impressora, onde são feitos relatórios, avisos de alarme.
3. copiadora, tipo Xerox® ou térmica, para fazer reproduções das telas de vídeo.
4. console do computador, com teclado de maquina de escrever e tubo de vídeo.
5. console do controlador digital, onde são configuradas as malhas de controle, através de blocos integrais aos circuitos eletrônicos do controlador.
6. quando há painéis com instrumentação convencional, como alternativa ou como reserva do controle a microprocessador ou computador, eles também estão localizados na estação de trabalho.

Fig. 8.14. Estação de operação típica do SDCD

4.5. Gerenciamento do controle de processo.

Hierarquicamente acima do controle convencional do processo, que cuida de manter as variáveis iguais ou próximas de pontos de ajuste, o processo pode ser gerenciado e otimizado. O gerenciamento do processo cuida da definição de valores e quantidades da produção, tipos de produtos e especificações dos produtos. A otimização se relaciona com o aumento da eficiência do controle, modificação dos pontos de ajuste, modificação dos parâmetros de controle e economia no uso da energia.

O gerenciamento e a otimização do processo são feitos por um computador digital, que não é, necessariamente, o responsável pelo controle do processo.

4.6. Sistema de comunicação

Para interligar todas as áreas funcionais anteriores: interface de entradas/saídas (I/O) do processo, controle, operação e gerenciamento deve haver um sistema de comunicação. Tal sistema de comunicação estabelece e arbitra as prioridades de comunicação e de comando. Adicionalmente detecta automaticamente as falhas de interligação e comunicação.

O sistema de comunicação é constituído de cabos coaxiais, fios comuns e estações de comunicação. Certamente é no sistema de comunicação que há as maiores diferenças e falta de padronização dos sistemas SDCD dos vários fabricantes.

4.7. Vantagens e limitações do SDCD

Baseando-se no que está acontecendo no mundo, o sistema digital de controle ainda não é a solução ideal aos principais problemas do controle de processo. Atualmente, já não se utiliza muito o sistema de controle digital distribuído convencional nos grandes e novos projetos de instrumentação.

Os benefícios gerais do SDCD somente agora começam a ser descobertos. Este tipo de controle ainda será usado por um longo tempo. O que se faz atualmente é padronizar a comunicação entre os módulos e abrir os sistemas operacionais dos seus programas aplicativos.

A maior desvantagem do SDCD é o seu altíssimo curto, raramente menor que US$ 1M. Há ainda problemas com falta de padronização de linguagem, de protocolos de comunicação, do sistema de interligação. O SDCD é um sistema imenso pouco flexível, pesado. Enfim, só se justifica sua aplicação em grandes complexos industriais e com grande suporte econômico.

5. Computador no Processo

5.1. Introdução

O computador digital pode não ser necessariamente a melhor escolha como controlador para qualquer processo dado; pois eles apresentam suas limitações e desvantagens. A escolha de usar ou não um computador digital como controlador para o processo ou usar computadores analógicos ou qualquer outro tipo de controlador microprocessado é uma questão muito complexa.

Os computadores digitais grandes (main frame) têm encontrado aplicação natural em sistemas mais complexos, onde sua tremenda capacidade computacional pode ser plenamente utilizada. Por causa de sua complexidade, eles requerem muito mais condicionamento das variáveis antes delas serem aceitas para uso no computador e são basicamente muito mais caros. Eles tipicamente não são usados em sistemas pequenos.

O uso potencial dos computadores pessoais (CP) causou uma reavaliação do custo real do controle a computador digital mesmo para o controle de poucas malhas. Comumente, eles são usados em combinação com outros tipos de controladores digitais. Por exemplo, pode se usar um computador pessoal monitorando o controle de vários controladores digitais microprocessados dedicados e uma única malha (single loop), todos interligados em uma rede de comunicação digital.

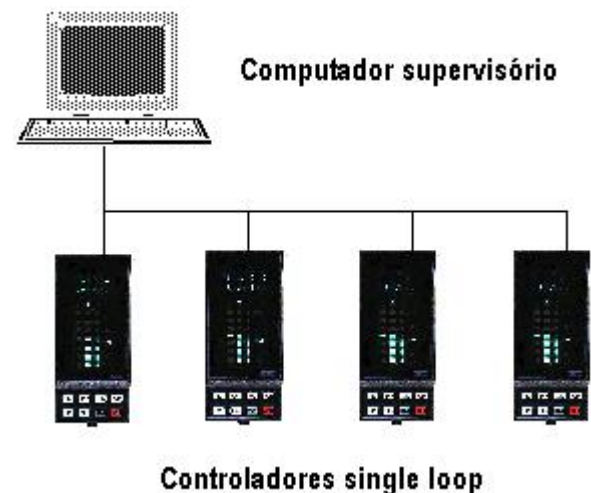



Fig. 8.15. Computador digital regulando controladores microprocessados

5.2. Computador Digital

Um computador digital é um equipamento eletrônico que opera baseado em princípios e equações expressas no sistema de número binário e na álgebra booleana; ele opera somente com informação codificada binariamente. Ele possui a capacidade interna de aceitar a informação codificada binariamente em seus terminais de entrada de equipamentos externos e fornece dados codificados binariamente em seus terminais de saída para uso por outros equipamentos.

Ele tem a capacidade interna de executar operações aritméticas binárias e lógica booleana na informação. A informação pode ser apresentada aos terminais de entrada do computador ou pode ser gerada internamente.

Finalmente, todos os computadores digitais têm a capacidade de armazenar internamente e indefinidamente grandes volumes de informação. Esta informação armazenada pode ser de dois tipos diferentes. O primeiro tipo é os **dados**, que o computador usa ou modifica em seus cálculos. O segundo tipo de informação armazenada consiste dos **programas**, que são as instruções codificadas binariamente que o computador interpreta e executa para fazer alguma operação útil.

O computador não é um equipamento isolado. Ele requer, para a operação do sistema, uma grande quantidade de equipamentos auxiliares, que são chamados de periféricos. Por exemplo, o computador requer um condicionador dos sinais de entrada, que converte os sinais analógicos em digitais (CAD), outro condicionador dos sinais de saída, que converte os sinais digitais em analógicos (CDA), teclados, multiplexadores, vídeos, impressoras, fazedores de gráfico, copiadores. Geralmente os equipamentos auxiliares periféricos custam mais e ocupam mais espaço que o computador isolado.

5.3. Diferenças entre o Computador Digital e o Computador Analógico

Tanto o computador digital como o computador analógico são usados para simular processos dinâmicos e equações matemáticas. Desde que a teoria do sistema de controle automático gera as necessidades de controle na forma de expressões matemáticas, os dois tipos de computados são adaptáveis para simular as equações de processo e portanto agir como controladores do processo. A diferença básica está em como eles conseguem a solução para estas equações.

Analógico é um termo usado para implicar uma seqüência de eventos continua, sem interrupção ou sem quebras. O tempo é uma qualidade analógica, em que ele sempre existe; nunca há uma circunstância em que o tempo pára ou seja interrompido.

Digital se refere a uma seqüência de eventos discretos. Cada evento é completamente separado de outros eventos passados ou futuros. Usualmente esta separação é um período de tempo. A maioria dos fenômenos naturais é de natureza analógica. A vida é continua, desde o instante do nascimento até a morte; nunca há um período de tempo em que ela não existe. A vida é analógica.

O calendário é discreto. O dia 27 de maio ocorre somente uma vez por ano. O dia 27 de maio existe somente por um período de 24 horas cada ano e é separado do outro 27 de maio por 364 dias. Durante o este período de 364 dias, o dia 27 de maio não existe ou não tem efeito.

A aplicação mais comum da informação digital é no uso de computadores digitais, que manipulam a lógica binária. A informação digital binária é tão comum que o termo *digital* tem adquirido a conotação de *digital binária*.

Os computadores analógicos agem diretamente nas quantidades analógicas, processando todos os dados ou informação na forma analógica e fornecendo as soluções em sua saída diretamente na forma analógica. Para executar isso, certas porções dos computadores analógicos devem ser fiadas a funções de controle especificas e estas porções do computador não podem ser usadas para qualquer outro objetivo sem modificações na fiação. Assim, quando o sistema fica mais complexo, a quantidade de equipamento requerido no computador

aumenta na proporção direta da complexidade. O computador analógico não tem capacidade de memória verdadeira; sua capacidade é limitada apenas ao processamento da informação atual.

O computador digital age diretamente na informação digital, faz todo o seu processamento da informação no formato digital e fornece a informação em sua saída no formato digital. Isto tem a desvantagem de que todas as quantidades analógicas devem ser convertidas em digital antes de serem manipuladas pelo computador e vice-versa para as saídas do computador. Porém, isso pode também ter uma grande vantagem, desde que uma vez a informação tenha sido convertida para digital, ela pode ser armazenada indefinidamente nesta forma sem perda da precisão.

O computador digital possui certos equipamentos básicos embutidos e assim os programas fazem os dados a serem manipulados por estes equipamentos. Para modificar a solução ou adicionar funções de controle, normalmente não é necessária nem a adição de mais equipamento nem a alteração da fiação do sistema. As modificações normalmente podem ser feitas diretamente no programa, que resultará nas variações desejadas nas soluções para as equações de controle. Assim, as modificações feitas nos cálculos do sistema são mais fáceis e econômicas.

Foram desenvolvidas técnicas que permitem o armazenamento quase ilimitado da informação codificada binariamente, tanto em relação ao tempo ou ao volume. Os computadores digitais têm a vantagem única de os programas poderem usar em equações esta informação armazenada de um modo não possível com os computadores analógicos.

Em computadores analógicos somente podem ser resolvidas equações para as quais foram construídos equipamentos e circuitos. Em computadores digitais, praticamente qualquer equação, independente de sua complexidade, pode ser resolvida pelo programa, sem a necessidade de qualquer projeto especial do equipamento. Assim, o computador digital pode resolver problemas mais complexos do que é possível com computadores analógicos.

Os computadores analógicos, desde que consistem de amplificadores operacionais e outros componentes eletrônicos, cada um deles tem uma precisão determinada e cada um deles muda sua característica com a temperatura e o tempo, introduzindo erros devidos às alterações destes componentes. Como os computadores digitais trabalham em somente dois níveis, não são alterados pelas variações dos componentes, como ocorre com os computadores analógicos. Assim, nenhum dos erros devidos às alterações dos componentes afeta a precisão inerente do das soluções do computador digital; eventualmente eles podem se alterar tanto, provocando a falha do computador, mas até este ponto ser atingido, nenhum erro é introduzido.

Na prática industrial, o computador analógico foi usado em totalização de vazão e na compensação de pressão e temperatura de gases. Hoje, a maioria absoluta dos computadores é digital.

5.4. Como um Controlador Digital difere de outros Controladores

Provavelmente a diferença básica é que um único computador digital pode executar o mesmo controle global de centenas de controladores convencionais individuais. Isto é, os computadores digitais, embora sejam consideravelmente mais caros que os controladores individuais, podem ser usados de modo compartilhado pelo sistema de controle.

Quando se usam controladores individuais, tem-se um controlador para cada malha. Cada controlador é fiado em sua malha e modificações futuras exigem nova fiação. Quando se usa um computador digital, os sinais dos vários sensores são levados para a entrada do computador e atuadores são ligados à saída do computador; esta é toda a fiação necessária. Para modificar as funções de controle (P, I e D) e de configuração (cascata, feedforward, auto-seletor), as mudanças necessárias são feitas no programa do computador e não necessariamente em algum equipamento. O computador digital é tão flexível neste aspecto que as estratégias de controle

podem ser mudadas pelo programa do computador, baseando-se na história passada da saída medida do processo, executando a chamada estratégia de controle adaptativo.

Há uma grande variedade de equipamentos de displays e módulos de entrada e saída, disponíveis para uso com os computadores digitais. A mais notável peça do equipamento de display é o monitor ou tubo de raio catódico (TRC).

Finalmente, devido a alta velocidade potência de computação e a possibilidade de grande armazenagem da informação, os computadores de controle de processo podem ser usados simultaneamente para computador inventários e mesmo programas de produção, o que é chamado de gerenciamento do processo. Em resumo, quando um computador digital é usado em um sistema de controle, há diferenças consideráveis no sistema, relacionadas com confiabilidade, tempo de resposta e rede de comunicação .

5.5. Como os Computadores Controlam

Em muitos sistemas de controle de processo, os computadores digitais não são melhores ou piores do que os outros tipos de controladores, eles são simplesmente mais econômicos para as aplicações especificas onde eles são usados. Em outros sistemas de controle de processo, os controladores convencionais, por uma razão ou outra, simplesmente não podem ser usados para se obter o desempenho satisfatório do sistema. Exemplos incluem alguns tipos de processos que reagem em velocidade muito alta, onde o peso, consumo de potência e volume de eletrônica são um fator importante; onde o sistema de controle de processo é tão complexo que os controladores individuais não são possíveis; processos em que o produto final varia consideravelmente no tempo de modo que a necessidade e a freqüência de reajustes dos controladores individuais seriam muito caras; processo que estão distribuídos em grandes distâncias onde os circuitos de comunicação digital são necessários e processos onde as especificações de precisão do sistema não podem ser economicamente estabelecidas com controle analógico.

Para completar o quadro de exemplos, há também processos que não podem ser controlados por computadores digitais. Os exemplos básicos incluem os processos que ocorrem em atmosferas com risco de explosão ou incêndio e nenhum equipamento eletrônico pode ser usado e processos que ocorrem em ambiente onde o ruído elétrico potencialmente tornaria o computador digital inoperante ou inútil.

O computador digital conquistou seu lugar no campo de controle de processo, como o fizeram outros tipos de controladores. Há muitas aplicações onde qualquer tipo dos vários controladores poderia ser usado com sucesso. Nestas aplicações, outros fatores além da habilidade de executar o controle adequado podem ser usados para se tomar a decisão final. Em muitas destas aplicações, a flexibilidade dos computadores digitais em executar outras funções, além do controle de processo, é um fator decisivo.

5.6. Tipos de Computadores Digitais

Há vários tipos básicos de computadores digitais. Embora todos sejam computadores digitais binários, cada tipo tem características de projeto que otimizam algum fator para uma aplicação específica.

O projeto básico da estrutura interna dos computadores digitais é a sua arquitetura. Este termo é usado para descrever a filosofia básica de manipulação e processamento de dados, em torno dos quais o computador é projetado e construído.

Por exemplo, um computador pode ser projetado para trabalhar com um número muito grande de dados e soluções de fórmulas complicadas. Sua arquitetura deve se basear na otimização de suas habilidades computacionais; isto é um típico projeto de computador científico.

Outro computador pode ser projetado para processar grandes volumes de informação de várias fontes, principalmente recompondo esta informação, enquanto executam cálculos relativamente simples. Sua arquitetura deve ser feita mais em torno de suas

capacidades de entrada e saída do que sua capacidade aritmética. O computador para reserva de passagens aéreas de uma companhia de aviação e o bancário possuem este tipo de arquitetura.

Muitos computadores são projetados para **uso geral**, isto é, eles possuem adequadas capacidades aritméticas e de entrada-saída para serem usados em grande variedade de aplicações. O computador pessoal é do tipo de uso geral.

Finalmente, há uma categoria de computadores de uso especial. Estes computadores foram projetados especificamente para aplicações particulares, diferentes das aplicações cientificas ou de negócios. Freqüentemente, os computadores de uso especial são basicamente computadores de uso geral que estão rodeados por equipamentos periféricos específicos e são programados para o particular tipo de trabalho que executam. O computador de um avião e o de controle de processo de um sistema digital são exemplos de computadores especiais.

O custo para projetar computadores verdadeiramente de uso especial seria proibitivo; e por isso um computador digital para controle de processo é um computador de uso geral, com periféricos determinados e com programas (software) e algoritmos (firmware) especialmente desenvolvidos para estas aplicações.

5.7. Uso do Computador Digital para Controle de Processo

Para aplicações de controle de processo, o computador requerido é de uso geral associado a um pacote de software específico. As aplicações de controle de processo normalmente requerem um processamento aritmético moderado e não exigem uma capacidade computacional do tipo científico. As necessidades de entrada-saída são extensas, porém, elas são totalmente diferentes das aplicações bancárias ou de negócios. Assim, o computador para controle de processo não é do tipo cientifico nem de negócios. Normalmente estes dois tipos de computadores possuem capacidades básicas específicas embutidas exageradas para as necessidades do controle de processo, tornando-os muito grandes e muito caros.

Na grande maioria das aplicações de controle de processo, computadores digitais de uso geral muito menores são usados com sucesso e suas interfaces foram modificadas para realizar as capacidades necessárias. Em algumas aplicações, a unidade de processamento central do computador é modificada para tornar o computador mais compatível com as necessidades do processo. Este grau de modificação coloca alguns desses processadores na classe de uso especial, onde um computador de uso geral foi modificado para certas aplicações. Na grande maioria dos sistemas de controle de processo, porém, o computador básico não foi modificado.

5.8. Como os Computadores Digitais Operam

O computador digital é basicamente um conjunto muito complicado de circuitos eletrônicos, que executam operações muito simples que podem ser representadas matematicamente no sistema de número binário ou pelas equações booleanas. O computador executa operações lógicas e binárias muito simples, envolvendo dados codificados binariamente, de modo extremamente rápido, confiável, previsível e seqüencial. Ele faz exatamente o que é programado para ele fazer e nada mais. Ele não pode fazer nada além do trabalho para o qual ele foi programado fazer; ele não pode pensar ou decidir por si.

Ele executa suas tarefas programadas:

1. interpretando várias combinações de 1 e 0, como comandos ou ordens para executar operações que foram fiadas fisicamente,
2. executando somente uma operação a um tempo,
3. seguindo rigidamente uma série seqüencial de comandos em ordem, a não ser que seja comandado alterar esta seqüência,
4. executando testes simples e tomando decisões relativamente simples baseadas nos resultados destes testes,

5. executando operações em microssegundos que o homem levaria minutos ou horas para executar,
6. tendo bancos de memória muito grandes, em que armazena e recupera a informação, quando necessário.
7. estabelecendo comunicações bidirecionais com equipamentos do *mundo externo*.

Todos os computadores digitais podem ser divididos basicamente em quatro unidades funcionais:

1. unidade de entrada-saída,
2. unidade aritmética,
3. unidade de controle e sincronismo
4. unidade de memória.

As unidades aritmética, controle e sincronismo podem ser referidas globalmente como unidade de processamento central ou CPU.

Unidade E/S

A unidade de entrada-saída contém a lógica digital necessária para interfacear o computador aos equipamentos externos, tais como os conversores analógico para digital e digital para analógico. Ela inclui a lógica necessária para gerar e verificar a sincronização entre a CPU e os equipamentos externos, de modo que os dados possam ser transferidos entre eles, de modo confiável. A unidade E/S [ou I/O (lê-se *aiou*), input/output, em inglês) é a principal via de comunicações entre a CPU e o mundo exterior.

Unidade aritmética

A unidade aritmética inclui todo o equipamento usado para modificar os dados no processo de resolver equações ou executar outras operações matemáticas ou lógicas nestes dados. Ela inclui a lógica que indica a execução completa e bem sucedida de cada operação matemática. Esta lógica pode ser testada pela unidade de controle e de timing, de modo a tomar decisões quanto ao procedimento a ser seguido em relação ao resultado aritmético conseguido de modo correto ou não.

Memória

A unidade de memória pode ser visualizada simplesmente como um grande almoxarifado cheio de caixas tipo caixa postal do correio, cada uma numerada seqüencialmente. A informação digital pode ser armazenada lá (uma palavra em cada caixa) para uso e recuperação posterior, enquanto sua localização for lembrada. As *palavras* armazenadas nestes caixas possuem um número especifico de bits binários em comprimento. O número de bits manipulados pelo computador e normalmente pela sua unidade de memória simultaneamente em uma operação simples é tecnicamente referido como o comprimento da palavra do computador. A grande maioria dos computadores usa correntemente palavra de 32 bits, 64 bits.

Há vários tipos de memória, cada uma muito diferente na estrutura física e na aplicação, que são normalmente usadas com um computador de controle de processo. A memória do tipo núcleo magnético tem sido a reserva para as memórias primárias do computador por causa de sua flexibilidade e pelo fato que ela não perder sua informação quando desenergizada. Ela requer uma considerável quantidade de potência elétrica para operar e é o tipo mais caro de memória (baseado no custo/bit armazenado). Há vários projetos básicos de memórias a semicondutor, que se tornaram práticas para uso em computadores de controle de processo. Estas memórias requerem muito menor energia elétrica para operar, são fisicamente muito menores e são muito mais baratas ($/bit) mas perdem todas a capacidade de armazenamento quando desenergizada.

Alguns tipos de memórias a semicondutor podem ser permanentemente (ou pelo menos, relativamente permanentemente) programadas, de modo que nem falha de alimentação ou do computador pode alterar o programa. Vários tipos dessas memórias ROM (*read only memory* - memória apenas de leitura) encontram aplicação em certos tipos de sistemas de controle de processo. Há outros tipos de memória a semicondutor tais como PROM (programável), EPROM (programável e apagável) r EEPROM (programável, eletricamente apagável).

Unidade lógica e timing

A unidade lógica de controle e *timing* é a quarta parte funcional de qualquer computador digital. É de sua responsabilidade sincronizar e controlar cada operação interna do computador. Esta lógica está diretamente ligada a cada unidade interna do computador e controla a operação da CPU diretamente. Ela recebe suas instruções básicas do programador. As instruções individuais em um programa de computador são escritas para serem interpretadas por esta unidade lógica de controle, de modo que algumas operação útil possa ser feita pelo computador.

As quatro unidades funcionais são interligadas entre si. A informação pode ser transferida bidirecionalmente entre a unidade aritmética e a memória e os equipamentos externos. Este arranjo é típico de qualquer computador digital e estes canais de comunicação são chamados de bus. A unidade de controle e timing é também ligada bidirecionalmente com as outras três unidades. De fato, ela controla a operação das outras três unidades funcionais e deve ser entendido que ela está sempre lá, mesmo que não esteja mostrada no diagrama.

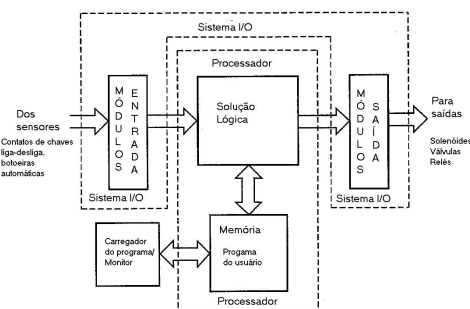



Fig. 8**.16**. Esquema básico do computador

A seqüência de operações executada pela lógica interna e causada por uma instrução típica através de um computador digital é a seguinte:

1. tudo começa com uma instrução do computador, que é uma (ou mais) palavra binária, codificada por um programador para um computador específico. A codificação real varia entre os computadores mas a instrução codificada é sempre interpretada por uma parte da unidade de controle, chamada de registro de instrução. [Um registro e há muitos no computador, é um grupo de flip-flops binários independentes. Cada FF tem a capacidade de memorizar um bit de informação que deve ser apresentado a ele simultaneamente com um comando, (chamado de gatilho) para lembrar este bit. Sem a ocorrência deste gatilho, o FF ignora o bit em sua entrada ou qualquer mudança neste bit, lembrando somente o único bit que foi apresentado a ele, em conjunto com seu comando gatilho. Há normalmente tantos FF montados em um registro como o número de bits na palavra do computador. Assim para um computador de 32 bits, um registro consiste de 32 FF independentes, todos com um gatilho e cujas saídas devem ser interpretadas simultaneamente como uma palavra completa.]
2. o programador normalmente codifica uma série de instruções, cada uma delas fazendo o computador executar alguma função útil elementar, coletivamente chamada de **programa**. A função pode ser manipulação, transferência de dados ou teste para a existência de alguma condição interna ou externa do computador. Uma vez o programador tenha determinado a seqüência de instruções necessária para executar a função desejada e tenha codificado adequadamente estas instruções, o programa é escrito na memória principal do computador para uso futuro.
3. o operador do computador carrega um registro da unidade de controle e sincronismo, chamado de registro de endereço do programa com o endereço (localização específica da memória ou número da caixa postal), de onde a primeira instrução do programa foi armazenada. Ele carrega (entra, escreve, carrega, **load**) o programa na memória do computador.
4. o computador se prepara então para executar a primeira instrução do programa. Até este ponto, o

programador não tem controle da operação do computador, porém, agora, após o computador ter completado o ciclo de instruções, a unidade de controle *olha* e decodifica a palavra binária no registro de instrução e executa a operação necessária. A instrução pode causar qualquer tipo de operação entre várias possíveis. Algumas das instruções mais comuns são:

- fazer uma palavra binária ser entrada ao computador ou à memória do computador de algum equipamento externo,
- fazer uma palavra binária ser saída do computador ou da memória do computador para algum equipamento externo,
- fazer uma palavra binária ser transferida de um registro para outro, ambos internos ao computador,
- fazer qualquer uma das seguintes operações ser executada em uma palavra binária: **soma, negação, subtração, multiplicação e divisão**,
- fazer uma operação lógica binária ser executada em uma palavra binária, tal como: **desvio à esquerda, desvio à direita, rotação**, ou uma **comparação lógica** com uma segunda palavra binária, como **and, or, exclusive or**,
- fazer uma palavra binária ser transferida de um registro interno da CPU para a memória do computador de qualquer modo possível, ou transferir da memória para algum registro da CPU (**ler** ou **escrever**).
- fazer um teste em um bit, em um sinal algébrico do resultado de uma operação aritmética, na finalização bem sucedida ou não, de uma operação matemática (**overflow**), na comparação de uma palavra binária com zero (**maior que, menor que** ou **igual a**) ou outra palavra binária ou em qualquer número de várias condições testáveis que podem existir dentro ou fora da CPU do computador.

6. Computador como Controlador

6.1. Introdução

Há três enfoques diferentes para aplicar os computadores digitais em sistemas de controle de processo.

1. O primeiro enfoque é estudar um típico computador digital e então tentar *trazer* o sistema de controle de processo para trabalhar com o computador. Isto foi necessariamente o enfoque tomado para os primeiros projetos de sistemas digitais de controle por causa da disponibilidade limitada dos computadores digitais. Embora seja um enfoque prático de projetar sistemas de controle, não é o melhor método.
2. O segundo enfoque é definir as necessidades do processo e depois escolher o computador digital em torno destas necessidades.
3. O terceiro enfoque é definir as necessidades do processo e depois escolher um software aplicativo específico rodando em um computador de uso geral. No projeto moderno de sistema de controle este é o enfoque mais prático por causa da grande variedade de softwares aplicativos presentemente disponíveis no mercado.

A competição entre os fabricantes levou-os a projetar softwares e hardwares em torno de sistemas típicos de controle. Os resultados finais refletem a diferença nas opiniões técnicas de como o computador ideal de controle de processo deve ser projeto e como deve ser sua arquitetura.

Para determinar qual a arquitetura ideal de um computador para controle de processo, deve-se investigar as fontes e os tipos de informação necessários para o computador para controlar o processo, depois determinar o processamento requerido para esta informação e finalmente estabelecer qual informação exigida pelo processo. Assim, aplicando o enfoque onde as necessidades do processo são definidas primeiro, é possível realmente se chegar às especificações funcionais do computador digital de controle do processo.

6.2. Informação Requerida pelo Computador

A informação realmente requerida por qualquer controlador de processo, se digital ou analógico, depende do processo em si. Porém, é possível classificar a maioria destas informações eletrônicas pelo tipo do sinal elétrico que o controlador manipula.

A variável básica de processo sendo usada como fonte de informação de entrada poderia ser a temperatura, pressão, vazão, nível, umidade, pH, força, velocidade, movimento ou posição. Supõe-se que estas variáveis estão sendo monitorizadas por sensores com saída elétrica. São as saídas elétricas destes sensores que vão ser categorizadas por seus valores elétricos, i.e., resistência variável, tensão e capacitância.

Geralmente estas saídas elétricas caem em duas categorias: analógicas ou digitais. Os sinais analógicos podem ser subdivididos em vários tipos: resistência, militensão, tensão corrente.

Entradas Analógicas

As saídas de sensores tipo resistência variável são geralmente alimentadas em alguma forma de um circuito ponte de Wheatstone e depois para um conversor A/D. Muitos valores de temperatura, força e pressão são comumente convertidos em sinais elétricos do tipo resistência variável.

As saídas de sensores tipo tensão são alimentadas ou em alguma forma de um circuito ponte de Wheatstone (militensão) ou através de filtro, casador de impedância ou divisor (tensão maiores) e depois para um conversor A/D. Tipicamente, algumas medições de temperatura, posição, força e pressão são monitoradas por sensores tendo saídas do tipo tensão cc.

As saídas de sensores tipo corrente vão normalmente para um resistor de amostragem (tipicamente de 250 Ω) que converte a corrente em um pequeno sinal de tensão, que por sua vez é manipulado como qualquer outra pequena tensão. Sinais de tensão alternada são primeiro convertidos em níveis de tensão contínua e depois manipulados como qualquer outro sinal de tensão contínua; a não ser que a informação esteja contida na freqüência de um sinal alternado. Neste caso o sinal alternado pode ser convertido em um sinal de onda quadrada e manipulado diretamente nesta forma ou pode ser convertido em uma tensão contínua e manipulado como qualquer outro sinal de tensão contínua.

Entradas Digitais

Os sinais digitais, como os analógicos, também são de vários tipos.

O primeiro tipo inclui os sinais digitais que contem a informação na freqüência do trem de pulsos, similar a um sinal alternado senoidal. Aqui o trem de pulsos (informação serial) é normalmente convertido para uma palavra binária paralela, simplesmente fazendo a amostragem da freqüência em intervalos de tempo específicos e contendo (contador binário) o número de pulsos durante este intervalo de tempo. Às vezes, os pulsos podem ser passados diretamente para o processador. Codificadores digitais de ângulo de eixo e codificadores digitais lineares são exemplos deste tipo de entrada de computador.

O segundo tipo de sinais digitais é aquele que contem a informação em seu estado de corrente 1 ou 0 e o processador simplesmente precisa saber em qual dos dois estados está o sinal. Contatos de relés, chaves fim de curso, equipamentos de segurança, sensores ópticos e posições de chaves são normalmente monitorados deste modo. As tensões disponíveis destes sensores de chaveamento variam muito e freqüentemente devem ser filtradas e ter seu nível ajustados antes de serem usadas pelo processador. Normalmente, o processador também precisa saber, além do estado da chave, também do fato que a chave justamente mudou de posição. O reconhecimento imediato da mudança de estado é geralmente mais importante que o conhecimento do estado em si e é chamado de *capacidade de interrupção*.

Freqüentemente, um equipamento como a impressora usada com pequenos computadores tem uma saída digital serial. Neste caso é necessário um conversor serial para paralelo na interface de entrada. Este conversor consiste de um registro binário de deslocamento (shift) e sua lógica de controle. Essencialmente, quando cada bit é recebido, ele é

deslocado em um registro, bit por bit, até que todos os bits da palavra tenham sido recebidos. A saída do registro lê a mesma informação, só que em paralelo.

O tipo final de sinal digital que o processador digital necessita para trabalhar é similar ao segundo, em que a informação está contida no valor instantâneo da tensão (estado digital). Ele é incluído em uma categoria separada devido aos circuitos de sincronismo e controle necessários para manipular esta informação. Este tipo de sinal digital vem da memória de massa (externa), como fita magnética ou disco. Também este tipo de sinal é encontrado quando o processador digital trabalha com entradas tipo teclado. O circuito adicional de sincronismo e controle, necessário para monitorar a transferência de dados entre o computador e estes equipamentos é muito complexo e normalmente está incluído na interface do computador.

6.3. Informação Requerida pelo Processo

Agora, a informação que o processo deve receber do controlador, de modo que possa ser controlado, define as necessidades da saída do computador. Como as entradas, as saídas podem ser analógicas ou digitais.

Saídas Analógicas

Os comandos da saída analógica (do controlador) são usados normalmente para acionar algum equipamento eletromecânico, tal como uma válvula de controle com atuador pneumático ou *damper*. Estas saídas podem necessitar de amplificação de potência e deslocamento do nível, além da conversão D/A (digital para analógico) ou transdução I/P (corrente para ar pneumático). Outras saídas analógicas são usadas para entrar diretamente em sistemas analógicos de controle ou computadores que são supervisionados por controladores primários de processo.

Saídas Digitais

As saídas digitais do controlador podem consistir de trem de pulso serial (modulado em freqüência), palavras digitais paralelas ou bits individuais de informação. Os trens de pulsos modulados em freqüência podem ser usados para acionar motores de passo digitais ou para fornecer a entrada para equipamentos de dados seriais, como impressoras. Os bits individuais binários de informação podem ser usados para controlar o estado de relés, intertravamentos, alarmes ou indicadores de status.

A saída digital paralela pode ser requerida como saída do computador para equipamentos de memória auxiliar, periféricos digitais, como impressoras e monitores. Nestes casos, também são necessários os circuitos de sincronismo e controle.

6.4. Circuitos de Interface

Nenhum computador digital pode trabalhar diretamente com o processo analógico. Deve se ter uma grande quantidade de circuitos condicionadores de sinal entre o processo e o computador. Coletivamente, os equipamentos e os circuitos eletrônicos que fazem o condicionamento adequado dos sinais são chamados de *interface*. A interface pode ser dividida em interface de entrada e interface de saída do computador, bem como em interface analógica e digital.

Bus de Entrada do Computador

Há uma *avenida* para o computador acessar todas as milhares de entradas individuais. Muitas destas entradas são multiplexadas juntas para sistema de conversão A/D. Multiplexar significa ter várias entradas e uma única saída no dispositivo, de modo que um único conversor pode ser compartilhado por estas milhares de entrada.

Os computadores digitais pessoais (microcomputadores) possuem algumas limitações práticas. Devido ao uso de circuitos integrados, os microcomputadores possuem uma grande capacidade de computação matemática, pequeno tamanho físico e relativamente baixo custo. Eles são construídos com somente um conjunto de lógica para executar cada uma de suas funções. Assim, ele tem a capacidade de fazer somente uma operação ou função em um momento. Porém, eles executam estas numerosas operações individuais em uma velocidade

tão alta que parece que elas foram feitas simultaneamente, mas não o foram.

Com estas realidades em mente, pode se pensar que são necessárias muitas avenidas de entrada para o computador e que estes muitos caminhos requererem uma lógica digital extensa e cara. Porém, como o computador pode trabalhar apenas com um equipamento de entrada por vez, é praticamente possível e conveniente multiplexar todos os equipamentos de entrada para a mesma estrutura de bus de entrada do computador. Esta estrutura bus age simultaneamente como um multiplexador para todos os equipamentos de entrada do computador e como uma avenida única e comum da informação a ser transferida diretamente no computador digital em si.

Desde que há necessidade de somente um único bus de entrada para o computador, a interface de entrada deve fornecer todo o condicionamento de sinal necessário para cada equipamento de entrada, de modo a se poder bloquear este equipamento no computador.

O sistema de conversão A/D tem a capacidade de multiplexar todos os sinais analógicos para uma linha comum de dados para cada conversor A/D. Este bus comum de dados digitais do conversor A/D deve ter níveis lógicos que sejam compatíveis com a estrutura do bus de entrada do computador. Certamente, as especificações reais da estrutura do bus serão determinadas economicamente de modo a otimizar a distribuição dos circuitos entre a interface e o computador. A interface da informação de entrada digital paralela tem circuito na interface para manter temporariamente a informação, de modo que ela permaneça constante quanto esteja realmente presente no bus de entrada do computador. Tipicamente os circuitos de interface são simplesmente registros buffer flip-flop, que realizam esta função. O registro flip-flop tem a habilidade de ignorar a informação presente em usa entrada até que um comando de memória seja recebido. Ele então armazena a informação presente em sua entrada quando o comando de memória é dado e retém esta informação até que seja recebido outro comando de memória.

A interface entre os sinais de entrada digitais individuais, cada um contendo um bit valioso de informação, tais como os reles é um pouco mais complicado. Cada entrada pode requerer deslocamento do nível, casamento de impedância ou filtro. O problema agora é que, para o computador adquirir a informação de apenas este equipamento, se requer um ciclo completo das entradas do computador. Todos os computadores para controle de processo são equipamentos paralelos, em que eles ordinariamente não executam operações em um bit digital simples em um momento, mas eles tomam muitos simultaneamente, dependendo do tamanho da palavra do computador.

O tamanho da palavra é o termo que descreve o número de bits que o computador manipula em uma única operação. O tamanho da palavra não foi considerado quando discutindo as entradas analógicas, desde que as entradas analógicas são normalmente convertidas com apenas 10 ou 12 bits de precisão, o que é aceitável dentro da capacidade da maioria dos computadores de controle de processo.

O computador tem a capacidade de receber informação acerca de um grupo de 16 sinais de entrada de reles, simultaneamente. Assim, a interface normalmente multiplexa 16 entradas para serem manipuladas pelo computador como um grupo; ainda o registro buffer flip-flop é usado para sincronizar todos os 16 sinais independentes, enquanto o computador estiver realmente recebendo na entrada estas informações.

Finalmente, há um grupo de entradas digitais que são considerados tão importantes que, quando os seus valores variam, o computador deve parar imediatamente o processamento de rotina e verificar os seus novos valores, ou são tão insignificante que não é importante o tempo requerido para o computador continuamente verificar os seus valores. Estes sinais devem ter a capacidade de interromper o computador, em algum ponto conveniente, durante o processamento de rotina, de modo que o computador tenha os novos status, o mais rápido possível, normalmente dentro de poucos microssegundos. O circuito de interface do

computador deve ter provisão de cuidar de cada uma destas entradas individualmente. Estes circuitos eletrônicos são referidos como a estrutura de *interrupção de prioridade*. Além de realizar a função de interromper o computador durante o processamento normal, os circuitos também fornecem uma estrutura de prioridade entre cada uma destas entradas, de modo a decidir o que é mais importante quando vários sinais tentam interromper o computador simultaneamente. Um exemplo de uma interrupção de alta prioridade é a saída de um circuito eletrônico que monitora as tensões de alimentação do computador. Sempre que a alimentação falta, o computador deve ter a capacidade de se desligar com segurança, de modo que o processamento normal possa continuar automaticamente, quando a alimentação volta.

Isto brevemente define as necessidades para a saída dos circuitos de interface de entrada do computador e simultaneamente as necessidades para os circuitos de entrada do computador, desde que eles devem ser bloqueados e compatíveis. Em resumo, o computador deve ter uma estrutura de bus de entrada digital paralela de 16 bits, para a qual todos os sinais de entradas possam ser multiplexados. Além disso, deve haver provisão para que certas entradas digitais selecionadas tenham a capacidade de interromper o computador, através de algum esquema de prioridade.

Bus de Saída do Computador

Há muitas similaridades entre as interfaces de saída e de entrada do computador.

O conversor D/A (digital para analógico) requer informação de entrada digital paralela mais memória. Uma estrutura de bus de saída paralela digital com um registro de saída buffer satisfaz todas as necessidades do conversor D/A. Pode haver muitos conversores D/A em um sistema; assim, estes registros buffer devem ser multiplexados em suas entradas. A definição do registro flip-flop oferecida anteriormente descreve como eles tem esta capacidade, ignorando suas entradas exceto quando estiver sendo executado um comando de memória. Em todos os outros tempos, o registro mantém sua saída exatamente igual a entrada, no instante que o comando de memória foi dado, independente das variações em seus terminais de entrada.

Este tipo de interface de saída do computador também é capaz de servir qualquer função de saída digital paralela, desde que o registro flip-flop realmente não se importe com o que está ligado à sua saída. Isto deixa as saídas do tipo trem de pulso e as saídas binárias individuais (1 bit) para serem consideradas.

As saídas de informação binária de 1-bit podem ser tratadas de um modo similar às entradas do computador de 1-bit. Um registro de 16-bit pode ser usado para manipular 16 saídas individuais simultaneamente. Cada saída do flip-flop é ligada diretamente a um único equipamento. Freqüentemente, este tipo de saída é usado para ativar relés e assim amplificadores de acionamento de relés também seriam necessários na interface de saída do computador. Um problema aparece quando uma saída do grupo de 16 relés deve ter seu status mudado. O computador deve comandar todos os 16 simultaneamente; porém, se seu novo comando para qualquer relé particular é exatamente o mesmo que o comando anterior, então o relé não é afetado. Assim, mesmo que somente uma saída das 16 esteja sendo comandada para alterar seus contatos, todos os 16 serão comandados simultaneamente, mas somente aqueles comandos para mudar o status serão afetados.

O tipo final de saída de computador a ser considerado é o da saída tipo trem de pulso modulado em freqüência. O computador pode manipular esta como se fosse um bit individual, simplesmente mudando uma saída bit na freqüência adequada, ou ele poderia jogar a palavra binária de saída para um registro buffer. Este registro é então ligado a um contador binário. O contador, junto com uma fonte de freqüência, é usado para gerar um número predeterminado de pulsos em uma freqüência constante. Este tipo de saída é usado tipicamente para acionar motores de passo digitais. Outra possibilidade é ter o registro buffer ligado a um registro *shift*. A

informação no registro *shift* é então deslocada, para a direita ou esquerda, para fora do registro até que cada um dos 16 bits tenha sido deslocado, em uma ordem adequada. Isto é um *conversor paralelo para serial*.

Os sinais de saída modulados na freqüência de pulsos podem ser também saídas do conversor D/A, a saída contínua que é usada como entrada para um conversor tensão para freqüência.

Em resumo, as necessidades reais da saída do computador digital são muito parecidas com as de entrada:

1. Ambas requerem a capacidade para a transferência paralela de 16 bits.
2. Ambas requerem a capacidade de multiplexar todos equipamentos para os barramentos.

Entrada/Saída do Computador

Desde que as necessidades do bus de transferência de dados de entrada e de saída são aproximadamente idênticas e desde que o computador pode fazer somente uma operação de vez, normalmente o mesmo bus de 16-bit é usado tanto como entrada para como saída do computador. O arranjo compartilhado do bus de entrada/saída (E/S) do computador foi usado durante muitos anos. Atualmente, vários novos computadores possuem arquitetura baseada em estruturas de bus separadas de entrada e de saída. Elas permitem que ambos os barramentos sejam simultaneamente usados, aumentando a capacidade de transferência dos dados de E/S.

Muitos fatores devem ser considerados, quando se decide se uma estrutura de bus simples é preferida a uma dual. O critério de decisão é quase sempre de economia. Economia não se refere apenas aos custos de equipamento (hardware) mas também economia em custos de programação, tempo do computador e uso de memória. A tendência atual mostra que a arquitetura de bus dual tem provado ser a mais econômica e eficiente, quando usada em aplicações de controle de processo.

Isto complica a discussão do projeto interno do computador e seu funcionamento. A arquitetura dual se torna popular mas a maioria dos sistemas existentes de controle e dos micro computadores digitais existentes usam a arquitetura de E/S compartilhada. A discussão é simplificada se for apresentada, assumindo uma estrutura de bus E/S dual, desde que a necessidade para a multiplexagem no tempo do mesmo bus para entrada e saída é eliminada. Assim, é assumido o uso de bus de entrada e de saída separados. De modo a fazer o material aplicável a um bus compartilhado, simplesmente admite se que os mesmos 16 fios (bus E/S) são alternativamente usados para entrada e para saída, a lógica dentro do computador ora ligando acionadores de linha ou receptores de linha aos terminais destes fios do computador.

Tendo decidido que o computador *vê* somente registros digitais flip flop conectados ao bus de entrada de dados com 16-fios (bit) e sai somente sobre uma estrutura de barramento de 16 fios para as entradas dos registros buffer digitais flip flop, o problema agora é identificar qual registro flip flop, em que bus e qual o momento.

6.5. Endereçamento E/S

Cada um dos registros flip-flop de entrada tem atribuído um único número de código binário e é fornecido com uma lógica digital que decodifica apenas este exato número de código. As entradas para esta lógica de decodificação são ligadas a um bus, funcionalmente separado do bus de dados, de normalmente 6 a 8 fios, chamado de *estrutura de bus de endereço de entrada*. Sempre que a lógica decodificadora associada com qualquer registro de entrada particular reconhece seu código único, ela ativa um especifico registro buffer do equipamento de entrada do computador. Este código único é apropriadamente chamado de *endereço do equipamento*. Sempre que o computador requer informação de qualquer equipamento, ele coloca este código do equipamento em seu bus de endereço de entrada e a lógica de decodificação de endereço permite que apenas o equipamento endereçado forneça a informação ao computador.

Há uma duplicação exata desta estrutura de bus de endereço e da lógica de decodificação de endereço que é usada para seletivamente permitir que cada equipamento de saída particular (registro buffer) possa receber a informação do computador: é o *bus de endereço de saída* e a *lógica de decodificação de endereço de saída*. Este bus adicional e sua lógica decodificadora fornecem os meios para o computador selecionar qualquer equipamento particular para transferir informação para seu registro buffer ou para alertar o equipamento para receber a informação.

Duas estruturas de bus adicionais devem ser mencionadas para o endereçamento dos equipamentos. Desde que o computador pode fazer somente uma coisa a um tempo, freqüentemente estas estruturas de bus de endereço são multiplexadas no tempo para os fios do bus de E/S de dados, com o controle e o sincronismo necessários, de modo que os equipamentos saibam como e quando ligar aos mesmos 16 fios (bus E/S).

6.6. Processamento de Dados

O computador deve ter a capacidade de endereçar cada um dos possíveis equipamentos ligados a ele na entrada ou na saída e transferir a informação do ou para este equipamento.

Freqüentemente, quando o valor escalonado de uma variável de processo chega ao computador, ele verifica este valor contra os valores máximo e mínimo que esta variável não pode exceder. Estes valores limites foram armazenados previamente na memória do computador para serem tomados facilmente como referência. Isto pode ser conseguido por uma série de comparações, que matematicamente é igual a complementar, incrementar e adicionar os dois valores, enquanto testando para resultado positivo ou negativo. Quando este valor da variável for *fora da tolerância*, este fato é normalmente indicado na saída do computador, na forma de um alarme.

Além de ou em vez de comparar dos dados a valores máximo e mínimo, freqüentemente o valor atual é comparado com seus valores passados para determinar a taxa de variação da variável no tempo. Isto introduz a necessidade de um relógio interno ao computador. Há vários modos de manter o rastreamento do *tempo real* dentro do computador, mas normalmente isto requer a simples adição da habilidade de incrementar ou decrementar um número. Sistemas mais complicados podem ter este relógio como uma função separada do equipamento, interna ou externa ao computador.

O método de manipular a informação do status do contato de relé, em grupos de 16, introduz a necessidade de ser capaz de *comparar logicamente* os valores das palavras digitais. Isto inclui a necessidade de executar as funções lógicas AND e OR, ambas em palavras de 16-bit e nos bits individuais desta palavra, desde que cada um dos 16 bits represente um relé diferente. Isto também implica na capacidade de testar os resultados de manipulações lógicas. A necessidade de ser capaz de trabalhar independentemente com cada bit da palavra do computador pode requerer a capacidade de deslocar a palavra para a direita ou esquerda com um elemento lógico testável, lembrando o valor de cada bit, um por vez. Além disso, o computador deve ser capaz de formular e dissecar palavras de 16 bits, bit por bit, na informação do status do contato do relé de entrada e de saída.

Todas estas manipulações de dados internas mencionadas requerem que os valores prévios ou limitantes sejam facilmente disponíveis na memória do computador. Estes valores devem ser armazenados em locais lógicos e facilmente endereçáveis. Normalmente, eles são armazenados em *tabelas* internas. Constantes numéricas, curvas trigonométricas e outras não lineares, códigos binários, tabelas de conversão podem também ser armazenados no computador em formato de tabela. Isto introduz a necessidade da lógica interna de endereçamento de memória do computador incluir a capacidade de executar aritmética simples no endereço de memória. Isto requerer uma lógica interna adicional; porém a unidade aritmética do computador tem a capacidade de executar a aritmética requerida e portanto, não é necessária nenhuma lógica aritmética adicional.

A categoria final de processamento aritmético de dados inclui a solução de equações algébricas e lógicas. A solução de equações dentro do computador digital binário forma a base da programação do computador. Essencialmente o sistema de numeração binário não é facilmente adaptável à solução de equações, com a exceção de equações lógicas binárias. Para resolver mesmo as equações algébricas mais simples, são usadas técnicas complexas, como de aproximações de séries infinitas, procura-em-tabela, simulação da equação, iteração e aproximações sucessivas.

A maioria destas técnicas requer manipulações aritméticas relativamente muito simples que coletivamente simulam a solução de processos matemáticos mais complexos, tais como multiplicação, divisão, integração, diferenciação, potenciação e radiciação. O que torna o computador digital binário aceitável para a solução de equações é a sua extremamente alta velocidade de execução das operações elementares. O computador digital pode fazer literalmente centenas de milhares de adições, subtrações e deslocamentos em um segundo, compensando assim a dificuldade de programação para estes cálculos.

A solução de equações algébricas e diferenciais pode ser obtida pelos mesmos elementos lógicos aritméticos binários anteriores. A capacidade computacional e a velocidade do computador seriam aumentadas com a multiplicação digital, porém isto é muito caro e raramente é usado em computadores para controle de processo.

Em resumo, as necessidades computacionais do computador de controle de processo são baseadas no somador binário, com as capacidades adicionais de deslocamento de palavras de dados e com a manipulação de cada bit individualmente. Também são necessários e usados os circuitos lógicos para testar os resultados da adição binária, testar cada bit na palavra de dados do computador, executar as comparações lógicas de AND e OR de palavras binárias e testar os resultados destas operações lógicas.

6.7. Projeto do Computador

O computador tem os bus de entrada e saída separados para dados de 16-bit, os bus separados de endereço de entrada e saída, a estrutura de interrupção de prioridade, a memória, a unidade aritmética e, finalmente, a unidade de sincronismo e controle, necessária para fazer todos os outros componentes trabalharem juntos. O enfoque tomado para definir as especificações funcionais do computador de controle de processo foi baseado nas necessidades próprias do processo e mostrou a necessidade de quatro unidades básicas de qualquer computador digital: unidade de entrada/saída, unidade aritmética, memória e unidade de sincronismo e controle.

A discussão seguinte verá cada uma destas quatro unidades básicas, do ponto de vista de como elas controlam o fluxo de dados e quais operações elas executam com os dados.

O dado se refere a qualquer palavra digital de 16-bit, que não seja instrução de programa ou endereço. O dado inclui qualquer e toda informação da variável do processo, códigos representando estes valores das variáveis, informação digital sendo transferida para ou de qualquer periférico. Qualquer palavra binária de 16 bits que é transmitida para e do computador via estruturas de bus de dados de entrada e saída é um dado, independe do que a informação realmente representa ou como ela é usada finalmente.

Os dados de entrada para o computador passam diretamente para a unidade aritmética ou diretamente para a memória do computador, para uso futuro. Os dados de saída do computador devem vir da memória ou da unidade aritmética do computador. Finalmente, deve haver provisão para o fluxo bidirecional de dados entre a memória e as unidades aritméticas.

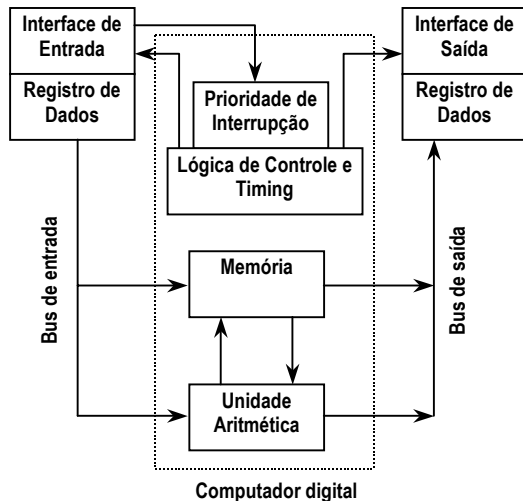



Fig. 8.17. Fluxo interno de informação para um computador digital

6.8. Programação do Computador

Um computador digital é um conjunto muito complexo de circuitos que são capazes de executar apenas operações muito simples, numa velocidade muito alta. Por exemplo, a sua unidade aritmética tem a capacidade de executar somente adições binárias.

Para somar dois números binários, deve ser seguido o seguinte processo:

1. toma-se um dos dois números, da memória ou do bus de entrada de dados do computador e armazena este número em um registro,
2. toma-se o segundo número a ser somado de outra fonte e armazena-o em outro registro,
3. alimenta a informação deste registro em um somador binário,
4. toma a saída do somador binário e a armazena em algum lugar,
5. verifica o indicador de excesso (overflow) para verificar se a saída do somador binário tem significado prático (a soma não pode exceder a capacidade do computador).

Esta é a seqüência de operações no computador mais freqüentemente realizada e para executá-la, devem-se realizar muitos passos individuais. Para **programar** o computador para fazer esta operação simples, deve-se especificar claramente e em seqüência, cada operação a ser feita. Isto constitui o *programa* do computador.

O programa do computador é o mecanismo real, através do qual a sua operação é controlada. Assim, a decodificação e execução dos passos individuais do programa do computador sao a função da lógica de controle do computador. Programar um computador digital é controlar cada operação que ocorre dentro dele.

Programação em Linguagem de Máquina

Os fabricantes de computador reduziram a quantidade de programação necessária, combinando várias relações usadas freqüentemente em uma única etapa, de modo que um único comando possa iniciar uma seqüência de operações mais simples e mais básica. Por exemplo, uma instrução especifica do programa pode causar uma palavra de dados de 16-bit ser retirada da memória do computador e armazenada no registro A. Assim, uma instrução do computador fez com que vários comandos internos sejam executados seqüencialmente:

1. a memória foi *ciclada* e a palavra de dado desejada foi retirada,
2. a alimentação foi estabelecida, de modo que a palavra de dado seja transmitida para o registro A.
3. comando apropriado (pulso gatilho) foi gerado e a palavra dada foi armazenada no registro.

A programação do computador neste nível é chamada de programação de linguagem de máquina ou programação simbólica. É o nível mais baixo de detalhe que qualquer programador deve ou pode trabalhar. O programador codifica cada comando individual para a lógica do computador, que executa o controle elementar do fluxo de informação de um ponto a outro dentro do computador ou entre um componente especifico do equipamento interno do computador e um periférico externo). Cada uma destas instruções do programa realmente gera uma seqüência de operações mais básicas e elementares a ser executada pelos elementos lógicos do computador. Porém, o programador do computador não tem controle sobre estas operações mais básicas; elas são programadas por fiação na lógica de controle do computador, são

acionadas pelas suas instruções e controladas seqüencialmente por um mecanismo interno de sincronismo.

Provavelmente, a operação do computador mais básica e de rotina é o ciclo da unidade de memória. As instruções do programa são sempre armazenadas em algum lugar dentro da memória e quando cada instrução do programa é executada, o computador deve simultaneamente causar o próximo passo do programa ser retirado da memória, independe do que as outras operações internas sejam requeridas por esta instrução particular.

Ciclo do Computador

Isto leva à necessidade para uma seqüência de eventos de rotina ser feita durante a execução de quase toda instrução do computador. Esta seqüência de eventos é controlada automaticamente pela unidade lógica e de sincronismo do computador, a cada momento que qualquer instrução seja executada e isto não precisa ser especificamente estabelecido pelo programador (humano).

Esta seqüência de rotina requer um período de tempo que, junto com o intervalo de tempo requerido para executar a maioria das instruções elementares do programa, é chamada de *ciclo do computador* ou *ciclo da máquina*. Este é o tempo básico de execução da instrução requerido pelo computador e é a especificação que o fabricante deve estabelecer claramente. Assim, um ciclo do computador de 1,76 µs é o tempo total requerido para que este computador faça toda sua rotina (obter a próxima instrução, levar os dados para os vários equipamentos funcionais, verificar a interrupção de prioridade) mais o tempo necessário para executar uma instrução básica do computador de um ciclo. Alguma instrução mais complexa do computador pode requerer mais de um ciclo para sua execução. A transferência de dados entre o computador e seus periféricos tipicamente requer vários ciclos de máquina para sua execução.

Fig. 7.19. Computador como controlador de processo

Mesmo que se leve um ciclo do computador para executar a instrução mais básica, na realidade há muitas operações seqüências ocorrendo internamente no computador durante este intervalo de tempo.

7. Conclusões

A discussão anterior apresentou uma visão muito breve e geral das exigências funcionais de um computador digital para controle de processo. Foram apresentadas as exigências funcionais do computador e seus circuitos de interface de entrada e saída, assumindo que o sistema comprado satisfaz estas especificações. Vários sistemas podem ser adequados às especificações. Escolher o que melhor atende determinada aplicação deve se basear em outros critérios, que incluem mas não se limitam a

1. custo de aquisição e de propriedade,
2. facilidade de programação,
3. suporte de backup,
4. estabilidade econômica do fabricante,
5. opções extras e
6. periféricos disponíveis,
7. limitações de memória e
8. limitações de endereçamento entrada/saída.

9

Controlador Lógico Programável

Objetivos de Ensino

1. *Definir o conceito de controlador lógico programável.*
2. *Descrever a historia do aparecimento e evolução do CLP.*
3. *Mostrar as características básicas.*
4. *Comparar o CLP com outros sistemas.*
5. *Mostrar os tipos e tamanhos dos CLP 's*
6. *Justificar o uso do CLP.*
7. *Selecionar o CLP, considerando ambiente, linguagem de programação e manutenção.*

1. Introdução

1.1. Definição

Controlador lógico programável é definido pelo International Electrotechnical Commission (IEC) como o:

sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para a armazenagem interna de instruções orientadas para o usuário para implementar funções especificas, tais como lógica, seqüencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos. O controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e facilmente usados em todas suas funções previstas.

Numa linguagem mais simples, controlador lógico programável é um computador eletrônico amigável ao usuário que executa funções de controle de vários tipos e níveis de complexidade. Ele pode ser programado, controlado e operado por uma pessoa que não sabe operar computador digital. O controlador lógico programável essencialmente executa as linhas e equipamentos dos diagramas ladder. O controlador lógico programável pode ser operado do lado da entrada por dispositivos liga-desliga ou por equipamentos de entrada variáveis e opera qualquer dispositivo de saída que deva ser ligado e desligado ou qualquer sistema com saídas variáveis.

1.2. Terminologia

Há vários termos e abreviaturas para descrever o controlador programável:

PC - programmable controller (UK),

PLC - programmable logic controller (EUA)

PBS - sistema binário programável (Suécia)

CP - controlador programável (Portugal)

CLP - controlador lógico programável (Brasil)

No presente trabalho será usado o termo CLP para o **C**ontrolador **L**ógico **P**rogramável.

1.3. Histórico

O primeiro controlador totalmente programável foi desenvolvido em 1969 por uma firma de engenharia, Bedford Associates, depois chamada de Modicon. O primeiro controlador programável foi projetado como um sistema de controle a computador dedicado construído especialmente para atender as especificações de um edital da General Motors Hydramatic Division, com as seguintes características:

1. Facilidade de programação e reprogramação, preferivelmente na planta, para alterar sua seqüência de operações,

2. Facilidade de manutenção e reparo, preferivelmente usando módulos *plug-in*,
3. Confiabilidade, mesmo em ambiente industrial
4. Menor tamanho que o sistema equivalente em relés,
5. Competitivo em custo com painéis de relés e eletrônicos equivalentes.
6. Aceitar as entradas em 115 V ca.
7. Ter saídas em 115 V ca com uma capacidade mínima de 2 A, para operar com válvulas solenóides e contatores.
8. Ter possibilidade de expansões com alterações mínimas no sistema como um todo.
9. Ter uma memória programável com capacidade mínima de 4.000 palavras, e que pudesse ser expandida.

Os primeiros CLPs eram equipamentos grandes e relativamente caros, de forma que só eram considerados competitivos para aplicações que eqüivalessem a pelo menos 150 relés. Mas com melhorias de projeto e o uso de circuitos integrados, atualmente pode-se usar CLP para circuitos equivalentes a até 15 relés.

1.4. Evolução

Cada geração de CLP tem incorporado novas características de projeto, incluindo maiores velocidades e maior capacidade lógica, tornando o CLP cada vez mais competitivo com outros sistemas digitais de controle. A faixa de CLP atualmente estende de pequenas unidades integrais com 20 pontos de E/S e 500 passos de programas até sistemas complexos com módulos que podem ser adicionados e atualizados com o mínimo de custo e perturbação da operação.

A tendência atual é a de usar

1. mais módulos microprocessados (chamados incorretamente de inteligentes),
2. operações mais rápidas,
3. maiores memórias,
4. mais funções do tipo computador,
5. melhores sistemas de comunicação,
6. maior numero de funções de controle de processo,
7. estações de operação mais amigáveis.
8. integração dos dados de processo do CLP em bancos de dados gerenciais, permitindo a apresentação imediata de informação para o pessoal envolvido em planejamento, produção e organização.

Tab. 9.1. Desenvolvimento do CLP

Ano	Tipo de desenvolvimento
1968	Desenvolvimento do controlador lógico programável
1969	CPU com instruções lógicas, 1 k de memória e 128 E/S
1974	Uso de vários processadores dentro do CLP, contadores e temporizadores, operações aritméticas, 12 k de memória e 1024 pontos E/S
1976	Introdução de sistemas de E/S remotos
1977	Introdução de CLP baseado em microprocessador
1980	Desenvolvimento de módulos E/S inteligentes
	Melhoria nas facilidades de comunicações
	Melhoria nas características de programação
	Uso de PC como auxilio de programação
1983	Uso de pequenos computadores pessoais de baixo custo
	Uso de memórias não voláteis NVRAM
1985	Circuitos de todos os níveis do CLP, computador e máquina de conformidade com as normas GM MAP
	Controle hierárquico distribuído de processo
	Redes Ópticas
1990	Sistemas pequenos (shoe box)
	Sistemas para competir com ou substituir SDCD

2. Comparação com outros sistemas

O CLP compete com sistemas de relés, sistemas digitais lógicos e computadores em aplicações de controle, monitoração e intertravamento de processos industriais.

Quando comparados, o CLP é escolhido como a melhor opção, considerando-se todos os parâmetros, exceto a velocidade de operação e imunidade a ruídos elétricos. O sistema mais rápido é com lógica digital e o sistema menos suscetível a ruído é com relés. Para manipular funções complexas, o computador convencional é ainda melhor que um grande CLP equipado com cartões com funções especiais, mas somente em termos de criação das funções e não no uso delas. Quando o CLP já tem a função, ele é melhor que o computador convencional, pois ele é um sistema com multiprocessador.

O CLP possui características de programação que o tornam mais atraente como controlador do que vários outros equipamentos industriais:

1. facilidade e flexibilidade para alterar os programas lógicos. O mesmo CLP é reprogramado e continua a operar com lógica diferente.
2. facilidade de programação com a lógica do diagrama ladder do usuário após a fiação ter sido completada porque o programa não depende tanto da fiação.
3. o programa lógico pode ser armazenado em disquete para a inserção direta em vários outros sistemas ou em um sistema reserva (*back up*).
4. no caso de defeito, as lâmpadas de status no CLP informam ao operador que parte do sistema está defeituosa.

2.1. Lógica Fixa Eletrônica

Quando surgiram os primeiros módulos lógicos a estado sólido (transistores), na primeira metade da década de 1960, previu-se que eles tomariam conta rapidamente do mercado até então dominado pelos relés. A lógica fixa com circuitos eletrônicos tem as seguintes vantagens sobre os relés,

1. alta confiabilidade,
2. alta velocidade e
3. a capacidade de executar operações complexas.

Com relação aos relés, apresenta as seguintes desvantagens:

1. maior custo
2. uso de algum tipo de álgebra booleana no projeto, desconhecida para os eletricistas
3. sensibilidade à interferência e ruídos elétricos originários das próprias instalações industriais.
4. dificuldade de manutenção e reparo, pois o pessoal de manutenção não tinha experiência com componentes de estado sólido,
5. baixo grau de confiabilidade dos dispositivos de entrada, especialmente das chaves de fim de curso, comprometia seriamente a confiabilidade global do sistema, ainda que o sistema lógico propriamente dito fosse bastante confiável.
6. pouca flexibilidade, pois os sistemas de estado sólido ainda estavam presos às limitações das fiações, o que tornava difícil modificar a lógica, da mesma forma que nos sistemas de relés.

Com os aperfeiçoamentos que foram surgindo, os problemas com sistemas de estado sólido com lógica fixa foram superados e, embora tenham encontrado algumas aplicações especificas (por exemplo, em sistemas complexos onde o uso de lógica de relés é difícil), afetaram pouco a posição dos relés no mercado de lógica. Recentemente, vários fabricantes lançaram módulos lógicos de estado sólido que usam lógica do tipo *ladder*, o que dá condições ao projetista de desenvolver sistemas de forma semelhante àqueles que usavam relés eletromecânicos.

2.2. Lógica com Relés

Durante muito tempo, a única lógica aceitável para intertravamentos envolvendo vidas humanas era com relés. Os relés são fiados segundo diagramas lógicos. As vantagens da lógica com reles são:

1. transparência do seu funcionamento; quando um relé atua, é visível sua atuação;
2. imunidade a ruídos elétricos e interferências eletromagnéticas
3. simplicidade de entendimento, fiação e manutenção (em sistemas pequenos)

As dificuldades da lógica com relés se referem a

1. complexidade da fiação e sua verificação em sistemas grandes e complexos,
2. pouca flexibilidade para mudanças: qualquer modificação na lógica dos relés implica em refazer tudo: desenhos, fiação e testes.
3. ocupação de grande volume físico.

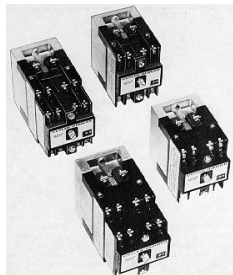



Fig. 9.1. Relés eletromecânicos

2.3. Computador Pessoal

Todo CLP é um computador mas nem todo computador pode funcionar como CLP. Os pontos que distinguem um CLP de um computador são:

1. operação de tempo real/orientação
2. classificação mecânica do invólucro
3. linguagem e técnicas de programação
4. manutenção e *troubleshooting*

Operação em Tempo Real

O CLP é projetado para operar em um ambiente de controle em tempo real. Ele possui um relógio interno (*clocks*) e timer de *watch-dog* embutidos em sua operação para garantir que algumas operações funcionais não mandem a CPU às favas. As tarefas da CPU são

1. varrer os módulos E/S para status,
2. tomar decisões de controle seqüencial definidas no programa,
3. implementar estas decisões e
4. repetir este procedimento todo dentro do tempo de varredura.

Considerações Ambientais

O CLP é projetado para operar próximo do equipamento que ele vai controlar. Isto significa que ele deve funcionar em um ambiente industrial quente, úmido, sujo, barulhento e poeirento. A faixa de temperatura típica varia de 0 a 60 ^{o}C com umidade relativa tolerável de 0 a 95% não condensante. Ele deve ter imunidade ao ruído elétrico comparável com a requerida em especificações militares.

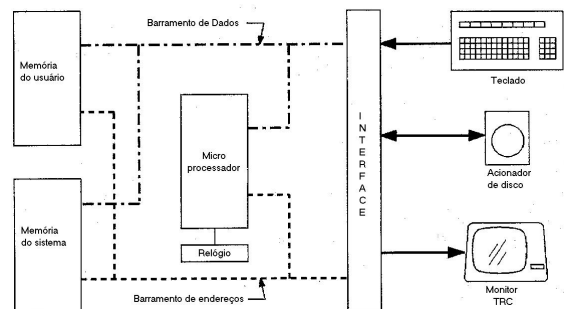



Fig. 9.2. Diagrama de blocos de computador

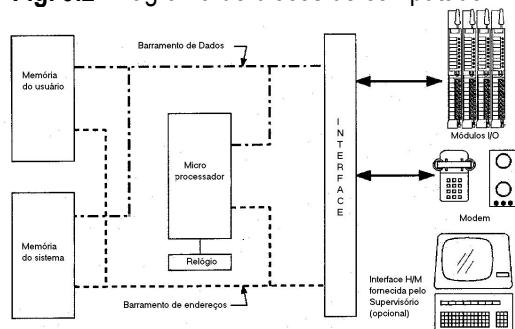



Fig. 9.3. Diagrama de blocos de um PLC

Linguagens de Programação

As linguagens do CLP são projetadas para emular o formato do diagrama ladder a relé. Este formato é lido e entendido por todo técnico eletricista de manutenção. Diferente da programação de computador, a do CLP não requer treinamento especial. O conhecimento da aplicação é muito mais importante que o do equipamento e sua programação. Embora certas técnicas especiais sejam importantes para a eficiência da programação, elas são facilmente entendidas. O objetivo principal é executar o programa de controle.

Outra diferença entre computador e CLP é a operação seqüencial do CLP. As operações do programa são executadas pelo CLP na ordem que elas foram programadas. Esta característica é muito útil pois permite a programação fácil de registros de *shift*, contadores, *timers* e outras técnicas úteis de indexação para aplicações de controle de tempo real.

A estrutura do programa de um CLP requer a execução seqüencial de tarefas com uma varredura, começando da tarefa 1 e indo até a tarefa 4 e retornando novamente á tarefa 1. A estrutura do programa do computador pessoal (PC), a execução da tarefa é feita em qualquer ordem.

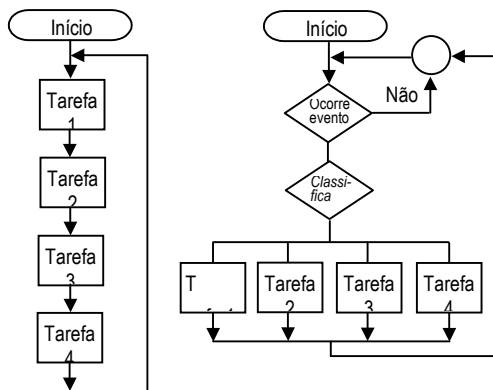



Fig. 9.4. Estrutura de programa do PLC (A) e PC (B)

Manutenção

Como controlador de chão de fábrica, o CLP deve ser mantido por instrumentista. Seria impraticável requerer serviço de manutenção do tipo computador. Por isso, os fabricantes incorporam ao CLP autodiagnose para permitir uma fácil pesquisa de defeito e reparo de problemas. Muitos dos componentes do CLP são modulares e simples de serem isolados. Geralmente a diagnose consiste na remoção e substituição de módulos do tipo *plug in*.

Conclusão

O CLP e o computador não são intercambiáveis; na verdade, eles se complementam. O CLP e o computador podem ser combinados em um sistema de controle de forma a se utilizar as melhores capacidades de cada um.

O CLP se encarrega de

1. interfacear equipamentos externos acionados por tensão alta, da ordem de 120 V ca.
2. interfacear equipamentos externos discretos de entrada, como chaves e botoeiras
3. executar a lógica de intertravamento do processo.

Os computadores têm algumas capacidades que são difíceis de reproduzir em CLP. Assim, o computador se encarrega de

1. lidar com tipos especiais de controle e matemática.
2. carregar e descarregar os programas do CLP ou os dados de produção e processo
3. gerar a documentação necessária para melhorar a produtividade, emitindo relatórios de produção, por exemplo
4. executar as funções de controle analógico

A comunicação entre o CLP e o computador se dá através de interfaces em série ou em paralelo. O CLP. Em sistemas de grande porte, é possível se interfacear diversos CLPs a um computador central através de uma via de dados (*data highway*).

2.4. Vantagens do CLP

A operação do CLP envolve

1. o exame dos sinais de entrada do processo,
2. a execução das instruções lógicas destes sinais de entrada conforme programa armazenado em sua memória
3. a produção de sinais de saída para acionar equipamentos de processo ou máquinas.

As interfaces padrão de entrada/saída, embutidas no CLP, permitem que eles sejam ligados diretamente a sensores e atuadores de processo, sem a necessidade de circuitos intermediários ou relés. O sistema de controle pode ser modificado sem a necessidade de desligar ou refazer a fiação. Apenas se muda o programa de controle através de um teclado ou um terminal de programação. O CLP também requer menor tempo de instalação e de comissionamento do que os sistemas com fiação física.

O CLP representa um produto acabado e testado. Ele possui a capacidade de controlar qualquer coisa, desde a lógica ladder de relé até malhas fechadas de controle de sistemas distribuídos. Porque então escolher o CLP em vez de um sistema convencional?

As principais vantagens do CLP em relação à lógica eletrônica fixa, relé e computador digital são as seguintes:

Flexibilidade

No passado, cada máquina de produção controlada eletronicamente requeria seu próprio controlador dedicado: 10 máquinas requeriam 10 controladores diferentes. Hoje, é possível usar apenas um CLP para controlar todas as máquinas. Cada uma das máquinas sob o controle do CLP tem seu programa próprio.

A capacidade multifuncional de um CLP permite a tomada de decisão da lógica de controle, uma versatilidade raramente possível com outros sistemas. A habilidade de combinar lógica discreta e analógica é uma ferramenta poderosa para o controle de processo. Isto é especialmente evidente no controle de processos batelada. As seqüências inteiras de partida e parada podem ser executadas pela lógica do seqüenciador e o controle analógico pode ser executado durante a corrida do processo. O controle dos parâmetros críticos de partida, como pressão e temperatura, pode ser preprogramado com precisão para cada passo da partida. Os degraus de temperatura e os cálculos para controle preditivo antecipatório podem ser facilmente programados.

Capacidade e Expansão

Quando um processo amadurece, é inevitável que sejam adicionadas melhorias, que requerem mais entradas e saídas. Para sistemas de relé com fiação física, isto geralmente necessita de grandes e problemáticas mudanças no painel. Um CLP facilmente acomoda a adição de E/S sem requerer mudanças na fiação existente. Os novos pontos são simplesmente colocados no sistema. Quando se quer adicionar uma ou duas malhas PID, nenhum trabalho adicional no painel é requerido; somente a ficção dos novos pontos e um pouco de reprogramação para incorporá-las. Quando o CLP usado já está *saturado*, pode ser necessário colocar novos módulos de E/S. Recomenda-se que o dimensionamento do sistema permita uma expansão de 20%.

Outra vantagem do CLP é que ele permite a implementação gradual do projeto. Os sistemas podem ser convertidos para o CLP em linha. A habilidade de o CLP ser reprogramado com o processo operando permite a automação de processos que são muito caros para serem desligados. Esta técnica é valiosa para projetos novos e reformas de processos existentes.

Facilidade de Alterações e Correções

Com um painel de relés com fiação física, qualquer alteração do programa requer tempo para refazer a fiação dos painéis e equipamentos. Quando se tem uma alteração na seqüência ou circuito do programa de um CLP, o programa pode ser alterado de um teclado, em questão de minutos. Não é necessário

refazer a fiação do sistema controlado pelo CLP. Também, para corrigir erros de programação, a alteração pode ser feita rapidamente pelo teclado.

Quantidade de Contatos

O CLP tem um grande número de contatos para cada bobina disponível em seu programa. Quando for necessário aumentar o número de contatos, não se requer a colocação de nenhum relé adicional; o número de contatos é aumentado também através do teclado. A limitação de contatos é estabelecida apenas pelo tamanho da memória do CLP.

Baixo Custo

Como o CLP foi projetado e construído para substituir relés, que são baratos, historicamente o CLP é barato, quando comparado com sistemas digitais de controle distribuído. O CLP é relativamente barato e fornece um menor custo por malha de controle ou por ponto de multiplexação de sinais analógicos e digitais. O CLP pode agir como um seqüenciador, controlador de malha fechada, equipamento de aquisição de dados e multiplexador. Esta capacidade multifuncional, se aplicada com imaginação, permite ao usuário do CLP economizar equipamento.

A melhoria da tecnologia permite compactar mais funções em circuitos cada vez menores e mais baratos. Na década de 1990, pode-se comprar um CLP com numerosos contatos, relés, temporizadores, seqüenciadores, contadores e outras funções por baixo custo (algumas centenas de dólares).

O custo de propriedade do CLP, que inclui os custos de manutenção, operação, treinamento, confiabilidade e disponibilidade também é menor, quando comparado com os outros sistemas. Os equipamentos a estado sólido são mais confiáveis que os relés e temporizadores mecânicos ou elétricos. O CLP é feito de componentes eletrônicos a estado sólido com altíssima confiabilidade.

Funcionamento Piloto

Um circuito programado de CLP pode ser rodado e avaliado no escritório ou na oficina. O programa pode ser batido, testado, observado e modificado se necessário, economizando muito tempo. Em contraste, os sistemas convencionais com relés só podem ser testados no chão de fabrica, consumindo muito tempo.

Observação Visual

A operação de um circuito de CLP pode ser visto durante a operação diretamente através de um monitor de vídeo. A operação correta ou incorreta do circuito pode ser observada quando acontece. Os caminhos lógicos acendem na tela quando são energizados. O *troubleshooting* pode ser feito rapidamente durante a observação visual.

Em sistemas avançados de CLP, podem ser programadas mensagens de erros para o operador. A descrição do erro aparece na tela quando o erro for detectado pela lógica do CLP. Os sistemas avançados de CLP podem também ter descrições da função de cada componente do circuito.

Velocidade de Operação

Os relés eletromecânicos podem levar um tempo inaceitável para atuar. A velocidade operacional para o programa de CLP é muito alta. A velocidade para a operação lógica do CLP é determinada pelo tempo de varredura, que é da ordem de milissegundos.

Facilidade de Especificação

Um CLP é um equipamento com uma data de entrega. Quando o CLP chega, todos os contadores, relés e outros componentes também chegam. Quando se projeta um painel de relés, pode-se ter diferentes relés de diferentes fornecedores. A compra de todos os equipamentos envolve várias datas de entrega e disponibilidades. Com um CLP, tem-se um produto e um tempo programado de entrega. No sistema de relê, o esquecimento de compra de um componente pode significar o atraso da partida de todo o sistema de controle. Com o CLP, um relé adicional é sempre disponível, desde que o CLP tenha uma capacidade computacional bem dimensionada no projeto.

Documentação

A impressão do circuito final e verdadeiro do circuito do CLP é disponível em minutos, quando necessário. Não há necessidade de procurar diagramas do circuito em arquivos remotos. O CLP imprime o circuito real em operação assim que solicitado no teclado.

2.5. Desvantagens do CLP

As principais desvantagens, restrições e limitações do CLP são as seguintes:

Nova Tecnologia

É difícil mudar as mentes e os corações de algumas pessoas que estão acostumadas a trabalhar e lidar com relés e diagramas ladder para uma tecnologia digital de CLP.

Aplicações de Programas Fixos

Algumas aplicações são de uma única função. Talvez não valha a pena usar um CLP que tem a capacidade de programação múltipla, quando esta capacidade não é necessária. Um exemplo, é o uso de seqüenciadores ou controladores mecânicos, a cilindro (drum). Tais equipamentos mecânicos são baratos e limitados, mas se encaixam bem em aplicação limitada, onde a seqüência operacional nunca é alterada.

Se o circuito em operação nunca é alterado, um sistema de controle fixo pode ser a solução mais econômica que um CLP. O CLP é mais efetivo quando são feitas modificações periódicas na operação

Considerações Ambientais

O CLP é um computador digital para uso industrial muito mais confiável e robusto que um computador de escritório. Mesmo assim, há certos ambientes industriais, com alta temperatura e vibração, que podem interferir com os seus circuitos eletrônicos.

Operação de Falha Segura

Em sistemas de relé, uma botoeira de parada desliga eletricamente o circuito. Se há falta de energia, o sistema para. O sistema de relé não religa automaticamente quando a energia volta. Obviamente, estas opções podem ser programadas no CLP, porém, em alguns programas de CLP, pode ser necessário aplicar uma tensão de entrada para fazer um equipamento parar. Estes sistemas não têm falha segura (fail-safe). Esta limitação pode ser superada adicionando-se relés de segurança ao sistema de CLP.

2.6. CLP versus SDCD

A interface de operador do sistema de controle supervisório e aquisição de dados (SCADA) levou o controlador lógico programável (CLP) a áreas onde ele pode competir com igualdade com os sistema digital de controle distribuído (SDCD). Com, o engenheiro de instrumentação deve decidir qual o melhor sistema para determinada aplicação. Escolher entre sistemas de controle com funcionalidades similares pode ser subjetivo, confuso, demorado e desgastante.

Na escolha entram parâmetros mandatórios e desejáveis. Os parâmetros mandatórios decidem quem pode entrar no jogo e os parâmetros desejáveis determinam quem ganha o jogo.

Um modo de fazer decisão é listar os parâmetros mandatórios e desejáveis, atribuir pesos a eles (e.g., de 1 a 10) e a partir daí, pode se ter um método eficiente, objetivo, quantificável e fácil de ser justificado de escolher o melhor sistema.

Os critérios envolvem custo de propriedade, desempenho, flexibilidade, utilidades e facilidades associadas ao sistema.

Custo

Não se deve restringir a análise do custo apenas do equipamento comprado inicialmente. Em um sistema digital, os custos estão associados a

1. hardware
2. software

3. engenharia
4. projeto
5. instalação
6. comissionamento
7. partida
8. validação
9. documentação
10. operação
11. treinamento
12. peças de reposição
13. manutenção
14. calibração
15. contrato de serviço pós venda
16. paradas pelo mau funcionamento do sistema de controle
17. atualizações futuras
18. ciclo de vida útil do sistema

Os custos iniciais com hardware e software são invariavelmente menores para o CLP que o SDCD. Porém, em sistemas muito grandes e complexos, que requer grande integração e codificação do usuário, os custos dos softwares do CLP também sobem.

Desempenho

No parâmetro desempenho do sistema entra a funcionalidade que pode ser desdobrada em

1. confiabilidade
2. disponibilidade
3. flexibilidade
4. mantenabilidade
5. capacidade de se expandir
6. modularidade
7. escalabilidade
8. configurabilidade do sistema

Também está associado ao desempenho do sistema a

9. facilidade de configuração da base de dados,
10. desenvolvimento gráfico,
11. intertravamentos,
12. gerenciamento de receitas,
13. sequenciamento de bateladas multiproduto

Em grandes processos batelada que requerem múltiplos produtos finais e gerenciamento de receita, o desempenho do SDCD é superior ao do CLP. Em produção pequena, dedicada a bateladas simples, com receitas limitadas, onde o gerenciamento de batelada não é crítico, o CLP é mais adequado e barato.

Os circuitos de SDCD são projetados para oferecer alta disponibilidade e redundância total do sistema (redundância de I/O, CPU, elos de comunicação, fonte de alimentação), sem falha de ponto isolado. O acoplamento seguro entre a interface homem máquina, controladores e software permitem grande segurança e integridade da operação conjunta do sistema. Porém, os CLPs também podem oferecer estas mesmas redundâncias e garantias de operação, mas também com custo elevado.

Os sistemas com CLP e SDCD possuem praticamente a mesma capacidade para diagnóstico, verificando a operação de sistema de comunicação, módulos I/O, carga CPU.

Conectividade

Uma das palavras chave na escolha de um sistema digital é a conectividade ou a capacidade dos módulos do sistema se comunicarem entre si e a do sistema se comunicar com outros sistemas digitais. Os protocolos de comunicação devem ser abertos, ou seja, não são proprietários de um fabricante. Aberto significa que as interfaces de comunicação são padrão e facilmente disponíveis de vários fornecedores. Aberto também significa facilidade de conectividade entre os sistemas industriais e corporativos.

O CLP é usado predominantemente como automação embutida por firmas integradoras por causa de sua aplicação ideal e baixo custo de hardware. Muitas operações de máquinas pequenas não podem suportar uma solução com SDCD. É muito comum integrar vários CLPs usando software aplicativo de outros fabricantes (InTouch, FixDMax, Wizcom).

Tamanho

Tamanho físico do sistema
Espaço disponível
Utilidades de suporte
Considerações de atualização (retrofit)

Estratégia da configuração

Estação de operação com consoles centralizados ou distribuídos

Interfaces I/O remotas ou centralizadas

Pacotes de software

Sistema suporta softwares aplicativos já disponíveis

Sistema operacional ou plataforma para rodas aplicativos: Unix, Windows NT.

Integração com aplicações de alto nível, tais como

- sistema de visão
- veículos guiados automaticamente
- sistema de gerenciamento de informação de laboratório
- planejamento de requisição de materiais
- equipamento OEM
- instrumentação de campo inteligente

O sistema com SDCD fornece o hardware e software bem acoplados. Eles também oferecem uma base de dados global de todo sistema, unificada e uma comunicação ponto a ponto superior. O sistema de gerenciamento de dados fornece uma troca e acesso de dados para a operação do sistema. As expansões e modificações do sistema são fáceis, mas devem ser feitas pelo fabricante. Por causa de sua configuração, o CLP requer um aplicativo supervisório, de outra firma, para ter uma funcionalidade equivalente à do SDCD. Modificações no sistema geralmente requer modificações no CLP e no programa supervisório.

Suporte técnico pós venda

Responsabilidade do

- Usuário
- Fornecedor do sistema
- Integrador

Conformidade com normas

Se sistema está de conformidade com normas:

- ISA/ANSI S88.1
- NAMUR NE 33

Conclusão

Historicamente, o CLP foi desenvolvido para substituir sistemas com relés eletromecânicos, aplicados para fazer controle de processos discretos, com muita operação de liga e desliga. A interface homem máquina é pobre, contendo apenas botoeiras, chaves seletoras e anunciador de alarme.

O SDCD foi uma evolução natural da instrumentação, onde as funções dos instrumentos (condicionamento de sinal, controle e display) foram distribuídas geograficamente. O SDCD substitui instrumentos analógicos, para aplicações de controle contínuo PID. A interface homem máquina é poderosa, com consoles com monitores de vídeo, teclados, mouses e trackball.

Com estas características, o CLP era usado para aplicações com muita lógica, intertravamento e seqüencial e o SDCD era usado para o controle PID do processo contínuo. O SDCD fazia o controle regulatório do processo e o CLP fazia o controle de alarme e intertravamento do processo.

Porém, com as compras de firmas pequenas, os grandes fabricantes de SDCD começaram a incorporar atividades de controle liga desliga no seus sistemas, com funcionalidade de lógica ladder de relé, blocos de função e programação de texto estruturado, que eram feitas tradicionalmente por CLP. Os sistemas de CLP também incorporaram o bloco PID em sua configuração e usando a estação de operação de um CP, roda aplicativos de controle supervisório.

Tecnicamente, um CLP pode fazer tudo o que o SDCD pode fazer. O que o usuário deve decidir é como facilmente e quanto custa para cada sistema satisfazer as exigências do sistema de controle, como definido na cotação.

A demanda e a tendência atual para sistemas e informação abertos continuam a crescer. Os usuários estão cansados das restrições impostas pelos fabricantes com relação a protocolos de comunicação, hardware e software. Os fabricantes atenderam a chamada para desenvolver produtos baratos baseados em tecnologias já comercialmente disponíveis. A necessidade de mais comunicação aberta entre sistemas, em todos os níveis, tem sido dirigida pelo usuário e é um pré-requisito para proteger os investimentos de capital e reduzir os custos do projeto.

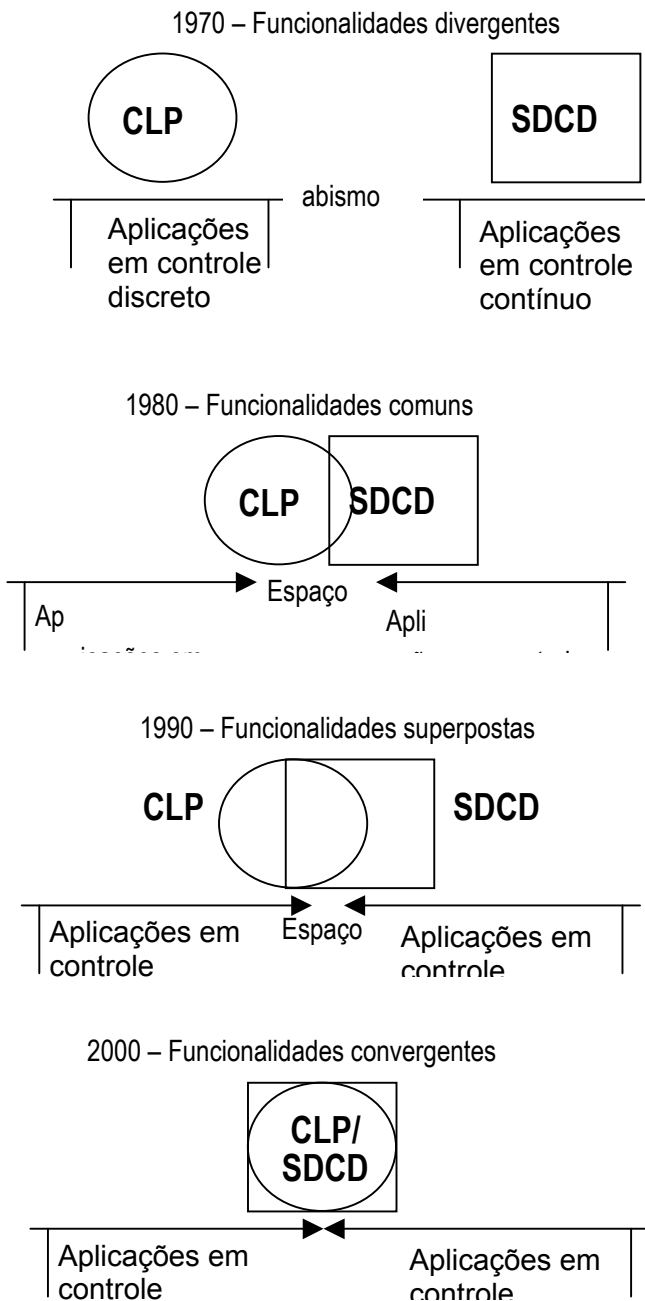



Fig. 9.5. Comparação entre CLP e SDCD

A superposição e mistura de aplicações com CLP e SDCD continuarão a acontecer. Grandes sistemas com CLP e SDCD funcionarão como um sistema unificado de controle com baixos custos de hardware e software. Aplicações usando somente CP irão crescer muito, por causa das nova tecnologia de ligar e embutir objeto (OLE – Object Linking and Embedding). Os usuários poderão integrar facilmente hardware e software usando normas novas, como a OPC – OLE para controle de processo.

Atualmente, no mundo globalizado, há uma disputa para se escolher um único protocolo de comunicação de campo, onde predominam duas tecnologias: Fieldbus Foundation e Profibus. Esta normalização irá complementar a tendência futura de levar a inteligência do sistema para os instrumentos de campo (transmissores e válvulas), aliviando a capacidade de processamento dos CLPs e SDCDs.

3. Componentes do CLP

O CLP é um computador com propósito específico com três áreas funcionais:

1. unidade de processamento central
2. memória
3. módulos de entrada e de saída

Todas estas áreas são alimentadas por uma ou várias fontes de alimentação.

Para funcionar conforme programado, o CLP deve carregar o programa de instruções de um terminal externo. A unidade separada de programação para carregar os programas de controle para a memória do CLP fica fora da sua operação.

As condições de entrada para o CLP são recebidas do mundo externo e armazenadas na memória, onde o CLP executa as instruções lógicas programadas nestes módulos de entrada. As condições de saída são geradas para acionar os equipamentos associados. A ação tomada depende totalmente do programa de controle mantido na memória do CLP.

No CLP pequeno estas funções são feitas por cartões de circuito impresso individuais dentro de uma única unidade compacta. No CLP grande, construído em base modular, os módulos funcionais são colocados nos conectores do armário de montagem, permitindo que o sistema seja expandido, quando necessário. Os cartões de circuito individuais do tipo plug in, sendo facilmente removidos e substituídos, possibilitando o reparo rápido do sistema quando há falhas.

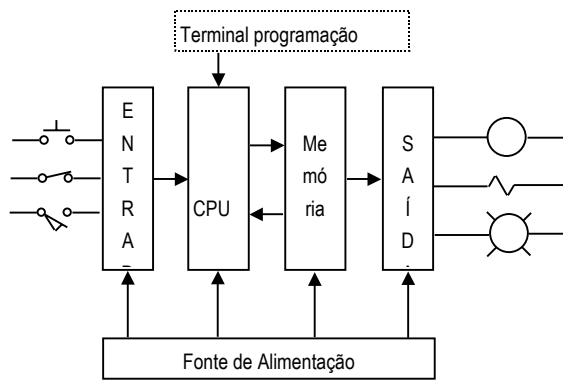



Fig. 2.6. Diagrama de blocos do CLP

3.1. CPU - Unidade Processamento Central

A Unidade de processamento central (CPU) é o coração ou o cérebro do sistema do CLP. A CPU controla e supervisiona todas as operações dentro do CLP, executando as instruções programadas armazenadas na memória. Uma via de dados interna de comunicações transporta as informações entre a CPU, memória e unidades E/S, sob o controle da CPU. A CPU é alimentada com uma freqüência de clock por um cristal externo de quartzo ou oscilador RC, tipicamente entre 1 e 12 MHz, dependendo do microprocessador usado e da aplicação. O clock determina a velocidade de operação do CLP e fornece o sincronismo para todos os elementos no sistema.

Fig. 9.7. Vista de um CLP (Modicon)

Há uma correlação entre o tamanho do sistema e o tamanho da memória interna necessária para rodar o processo. Controlar pequeno sistema simples requer somente um pequeno CLP com uma memória limitada; controlar um grande sistema complexo requer uma unidade maior com mais memória e funções. Algumas CPUs podem ter memória expansível; outras são fixas.

Praticamente, todos os CLPs modernos são baseados em microprocessador usando um microcomputador como a CPU do sistema. Alguns CLPs maiores também empregam microprocessadores adicionais para controlar funções complexas e demoradas, como processamento matemático, controle PID e módulos E/S inteligentes.

A CPU contem vários receptáculos para conectar os cabos que vão para outras unidades do CLP. Estes cabos devem ser ligados corretamente para o sistema funcionar.

A maioria das CPUs contém baterias de back up para manter o programa operando na memória no caso da falta de energia da planta. O tempo de back up retentivo típico é de um mês a um ano. O programa de operação básico está permanentemente armazenado na CPU e não é perdido quando falta energia. Porém, o programa ladder de controle de processo não está armazenado permanentemente. A bateria de backup permite a CPU reter o programa ladder de operação no caso de perda de energia. Apenas o programa de operação pode ser perdido ou apagado quando a alimentação da CPU do CLP é perdida.

A CPU geralmente possui uma chave para evitar a intervenção de pessoa não autorizada na operação do processo ou a alteração do programa de operação do sistema. As posições típicas desta chave são:

1. **Off** - o sistema não pode ser rodado ou programado.
2. **Run** - permite o sistema rodar, mas não permite nenhuma alteração no programa
3. **Disable** - desliga todas as saídas ou as coloca no estado sem operação

4. **Monitor** - liga a tela que mostra as informações de operação
5. **Run/Program** - o sistema pode rodar e podem ser feitas modificações nele enquanto ele estiver rodando. Este modo deve ser usado com cuidado. Neste modo, o programa não pode ser completamente apagado (por segurança) mas pode somente ser modificado. Para apagar um programa inteiro a chave deve estar na posição *disable*.
6. **Off/Program** ou **Program** - O sistema não pode rodar mas pode ser programado ou reprogramado.

Alguns CLPs podem ter outras chaves alem dessas.

Fig. 9.8. Relações entre a CPU e partes do CLP

3.2. Memória

O CLP moderno usa dispositivos de memória a semicondutor, para armazenar programas, como memória RAM de leitura/escrita ou uma memória ROM programável de EPROM ou EEPROM.

Geralmente, a RAM é usada para o desenvolvimento inicial e teste do programa, pois ela permite alterações fáceis do programa. A tendência atual é fornecer RAM com CMOS alimentada por bateria reserva recarregável ou de longa vida (no mínimo, 1 ano), por causa do baixíssimo consumo de potência ou memórias retentivas especiais que dispensam o uso de baterias.

Depois que um programa é totalmente desenvolvido e testado, ele pode ser carregado chips de memória PROM ou EPROM, que são mais baratos que uma RAM. A programação da PROM é usualmente feita com equipamento especial, embora alguns CLPs tenham esta facilidade integral ao sistema, permitindo que o programa na RAM seja carregado em um chip PROM colocado em um soquete dentro do sistema.

Além de armazenar o programa, o CLP requer a memória para outras funções, como:

1. armazenar temporariamente status dos canais E/S - RAM E/S,
2. armazenar temporariamente status de funções internas, como temporizadores e contadores.

Como estas funções consistem de dados variáveis, é necessário o uso de memória RAM.

O CLP menor geralmente possui um tamanho fixo de memória, por causa das dimensões físicas da unidade. Esta capacidade de memória varia entre 300 e 1000 instruções, dependendo do fabricante. Esta memória pode parecer insuficiente mas estima-se que 90% de todos as tarefas de controle binário podem ser resolvidas usando menos de 1000 instruções, de modo que há espaço suficiente para satisfazer as necessidades da maioria dos usuários.

O CLP maior usa módulos de memória entre 1K e 64K, permitindo que o sistema seja expandido pela colocação de cartões de memória RAM ou PROM no armário. Como os custos das memórias de circuito integrado (CI) continuam caindo, os fabricantes de CLP estão aumentando cada vez mais as memórias de programas em todos produtos.

3.3. Unidades de Programação

Podem ser usados dois equipamentos básicos de programação do CLP: programador portátil e programador a CRT.

O programador portátil permite o operador entrar um programa um contato por vez. Estas unidades são muito usadas porque são robustas, portáteis e fáceis de operar. Elas são muito baratas e possibilitam o engenheiro entrar um programa e diagnosticar problemas na lógica e nos equipamentos de campo.

Um programador com CRT permite o operador ter uma visão do programa no CLP. Os diagramas ladder são desenhados na tela, como no papel. O tempo do projeto e da pesquisa de defeito é reduzido com o uso do CRT. Através de programa com menus, o tempo de treinamento do programador é diminuído. O CRT é projetado para orientação de prancheta ou a nível de chão de fabrica. O exterior é feito metal resistente a impacto e o teclado é a prova de respingo. O tamanho da tela varia de 4 a 9" (100 a 225 mm), com proteção com chave para evitar a alteração do programa por pessoa não autorizada.

Estas unidades podem ser especificadas com memória. A informação pode ser armazenada em discos flexíveis ou fita magnética. Com memória em disco flexível, os programas podem ser copiados de um disco para outro e verificados sem a necessidade de carregar na memória do CLP. O projetista pode desenvolver o programa em um disco e depois carrega-lo no CLP.

Fig. 9.9. Programador com monitor

Alguns programadores a CRT fornecem a documentação completa, incluindo diagramas ladder, lista de referência cruzada, lista de E/S. O programador a CRT pode ter uma tomada RS232C para uma impressora.

A tela do CRT tipicamente mostra 8 degraus da escada do diagrama, com 11 contatos através. Os diagramas ladder podem ser colocados em um modo de "tempo real", que permite o status de contato visual. Uma tela inteira de contatos e bobinas pode ser atualizada numa base de 40 ms. Estes programadores são projetados para serem portáteis, mas pesam de 20 a 27 kg. Com uma ligação a modem estes CRTs podem ser usados em locais remotos para programação e pesquisa de defeitos.

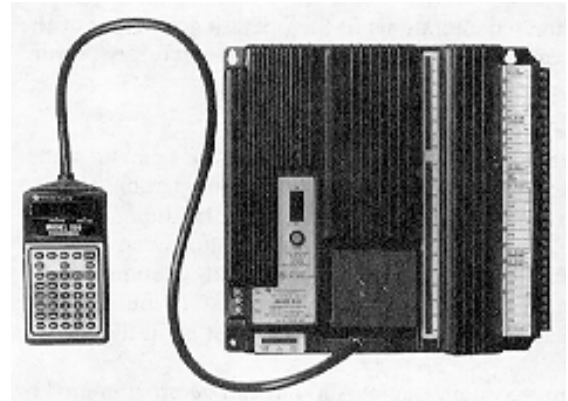



Fig. 9.10. Programador e CLP (Texas)

Quase todos os painéis de programação contem RAM suficiente para permitir a armazenagem semi permanente de um programa em desenvolvimento ou sob modificação. Se o painel de programação é portátil, sua RAM é normalmente CMOS com reserva de bateria, permitindo a unidade reter programas durante o transporte. Somente quando um programa está pronto para uso ou teste que ele é transferido para o CLP. Depois que o programa instalado for totalmente testado e corrigido (debugged), o painel de programação é removido e fica livre para ser usado em outro CLP.

O terminal pode ter uma facilidade de monitoração, permitindo a observação em tempo real do funcionamento de chaves, portas e funções durante a execução do programa.

O CLP grande é geralmente programado através de uma unidade específica com um teclado e monitor, ligado ao controlador através de uma porta de comunicação, normalmente RS 232C. Estas unidades fornecem grandes facilidades de programação, como gráficos na tela e inclusão de comentários durante o programa. Recentemente, usa-se microcomputador pessoal (PC) como estação de trabalho para a configuração e desenvolvimento de programas para o CLP, permitindo o display de gráficos e diagramas ladder na tela e aumentando a velocidade de operação.

Fig. 9.11. Programação com laptop

A grande memória disponível nos modernos PCs de 16-bit é ideal para a armazenagem de vários programas completos de CLP com comentários e documentação. O uso de PC como estação de trabalho do CLP também permite ao usuário ter acesso a outras facilidades de programas para gerenciamento de projeto, como banco de dados, planilhas e processamento de texto.

3.4. Módulos de Entrada/Saída (E/S)

Os módulos de entrada/saída (E/S), também chamados de *módulos I/O* (input e output), constituem o elo físico entre o processo externo e a CPU do CLP. Os módulos E/S usam vários circuitos de interface para receber os sinais proporcionais às variáveis do processo como pressão, temperatura, vazão, nível, movimento, posição, analise, vibração. Os terminais do modulo de entrada recebem sinais de fios ligados a chaves, indicadores e outros equipamentos de informação de entrada. Os terminais do módulo de saída fornecem tensões de saída para energizar motores e válvulas e operar equipamentos de indicação.

Por questão de economia de espaço e equipamentos, há tipicamente 4, 8, 12 ou 16 terminais por módulo E/S. Nem sempre o sistema tem o mesmo número de entradas e saídas; geralmente há mais entradas do que saídas.

Os módulos de entrada e de saída podem estar na mesma gaveta do rack (sistemas pequenos), ou podem estar em unidades separadas (sistemas grandes).

Fig. 9.12. Vista de módulos E/S (Modicon)

Os módulos E/S são ligados à CPU por cabos ou fios. O número exato de fios é determinado pelo tipo e configuração do CLP. Para módulos múltiplos em um armário, é necessário ajustar as chaves (dip switches) para cada módulo individual. Estas chaves determinam o número operacional de cada entrada e saída. Alguns módulos E/S possuem chaves internas.

Os módulos E/S normalmente adequam os elevados níveis de tensão encontrados nos elementos de campo para os baixos níveis de tensão observados internamente na CPU. A consideração mais importante para um módulo E/S se refere à especificação do nível de tensão e de corrente. Módulos com níveis diferentes de tensão e de corrente podem não funcionar, na melhor das hipóteses e podem se danificar irremediavelmente, se o fusível não agir

antes, na pior das hipóteses. Por exemplo, um módulo de entrada especificado para 24 V cc não funciona em 120 V ca e um dispositivo de saída requerendo 5 A não pode ser acionado por um módulo de saída para 2 A.

Módulos E/S remotos

Os principais tipos de módulos de entrada e saída são:

1. discretos
2. analógicos
3. registros
4. inteligentes

Módulos de E/S Discretos

Os módulos E/S discretos são a classe mais popular dos dispositivos encontrados no sistema de CLP. Estes módulos conectam sinais de entrada que são separados e distintos em sua natureza ou dispositivos de saída de campo que requerem um sinal separado e distinto para controlar seu estado. Estas características limitam os módulos de E/S discretos a sentirem sinais que são ligado-desligado, fechado-aberto ou equivalentes ao fechamento de uma chave. Para o módulo de interface, todas as entradas discretas são dispositivos de dois estados. Da mesma forma, as interfaces de saída são limitadas a controlar dispositivos de chaveamento para um estado como ligado-desligado ou aberto-fechado.

Os tipos mais comuns de módulos E/S para entradas discretas encontradas em medição e controle de processo são:

Dispositivos de Entrada Discretos

Chaves Push-buttons
Chaves toggles
Chaves limite
Chaves automáticas
Portas lógicas
Células fotoelétricas
Contatos de starters de motores
Contatos de relés

Dispositivos de Saída Discretos

Anunciadores
Relés de controle
Lâmpadas
Portas lógicas
Buzinas
Starters de motores
Válvulas elétricas
Solenóides

Cada entrada ou saída discreta é alimentada por alguma fonte de tensão na maioria das vezes fornecida pelo campo como 24 V cc, 120 V ca.

Quando em operação, se uma chave na entrada é fechada, o módulo de entrada sente a alimentação fornecida e a converte para um sinal de nível lógico adequado para que a CPU interprete o estado do dispositivo de entrada. Lógica 1 indica Ligado, ON, Fechado, Verdadeiro e lógica 0 significa Desligado, Aberto, Fechado, Falso para a CPU.

A CPU interpreta o programa e atua as interfaces de saída que fornecem alimentação para os elementos de controle. Se uma saída é mudada para lógica 1, a tensão é chaveada para alimentar o dispositivo sob controle.

Módulos de entrada ca

Um diagrama típico para um módulo de entrada ca é dado abaixo.

Os tipos de módulo de entrada variam de fabricante para fabricante mas a maioria é constituída por estes blocos básicos. O circuito de entrada é constituído de duas partes principais: a parte de potência e a parte de lógica. Estas duas partes são normalmente acopladas por um circuito que isola eletricamente a entrada da saída. Esta isolação elétrica é muito importante em um ambiente ruidoso como o industrial. Um dos problemas de controle industrial com computador, até o surgimento do CLP, era que os dispositivos de E/S não haviam sido projetados para estes ambientes industriais, sendo sujeitos a falhas freqüentes e com pequena confiabilidade.

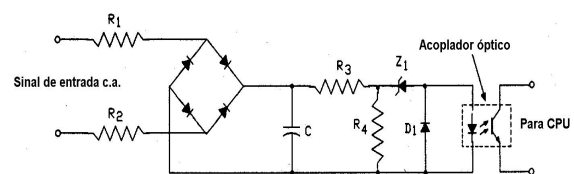



Fig. 9.13. Circuito de entrada ca

A seção de potência de um módulo de entrada basicamente converte a tensão de entrada (115 ou 230 V ca) de um dispositivo para um sinal de nível lógico para ser usado pelo processador. O retificador converte o sinal de entrada ca ou cc para um sinal que passa pelo filtro que protege o circuito contra ruídos elétricos da alimentação de entrada. Este filtro causa um atraso de sinal, típico de 10 a 25 ms. O circuito de detecção de nível detecta quando o sinal de entrada atinge o nível especificado para a entrada. Se o sinal de entrada exceder este nível por um período de pelo menos o valor do filtro, o sinal é aceito como uma entrada valida.

Quando uma entrada valida é detectada, ela passa através do circuito de isolação, convertendo o sinal original (no caso ca ou cc) para um nível lógico do outro lado da isolação. Este nível lógico é tratado pela lógica e é enviado para a CPU.

A maioria dos módulos de entrada contém indicações visuais do estado lógico de suas entradas através de LEDs ou lâmpadas

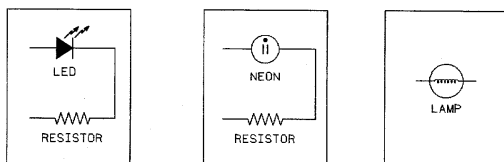



Fig. 9.14. Indicações dos módulos E/S

Módulos de entrada cc

Os módulos de entrada cc convertem sinais discretos de corrente continua (12 V cc, 24 V cc, 48 V cc, 125 V cc) para os níveis lógicos aceitáveis para a CPU. Sua constituição e funcionamento são similares aos do módulo de entrada ca exceto pela não necessidade de retificação.

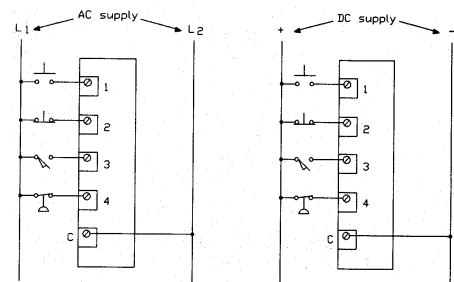



Fig. 9.15. Ligação de módulos de entrada ca e cc

Módulos de saída ca

Como os módulos de entrada ca, os módulos de saída ca variam em construção de fabricante para fabricante. O diagrama de blocos típico descreve a operação da maioria dos módulos ca disponível no mercado.

O circuito pode ser dividido nas partes lógica e de potência acopladas por um isolador. A interface de saída é uma chave ca que fornece a alimentação de campo para o dispositivo de controle.

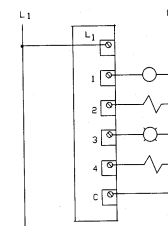



Fig. 9.17. Circuito de saída para módulo ca

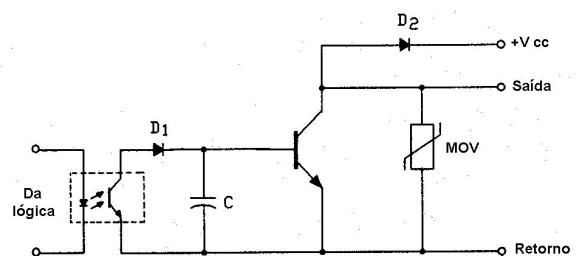



Fig. 9.18. Ligação do módulo de saída ca

Em operação normal, o processador envia o estado lógico da saída determinado pelo programa para a seção lógica. Se a saída é energizada, o estado passa para a etapa de potência

disparando uma chave que é normalmente um relé ou triac.

O circuito ca de potência é normalmente protegido por um circuito RC e um MOV (Metal Óxido Varistor), usado para limitar os picos de tensão que possam afetar a operação do módulo.

Como os módulos de entrada, os de saída também podem possuir LEDs para indicar o estado da lógica. Alguns módulos também contem um fusível na parte de potência para proteger o elemento de chaveamento (triac ou relé) de sobrecorrentes ou curtos na carga.

Módulos de saída cc

O módulo de saída cc é projetado para manusear cargas de corrente continua. Sua operação é similar ao módulo de saída ca, porém, os circuitos de chaveamento da carga são diferentes. São usados FETs (Field Effect Transistor) ou transistores bipolares para o chaveamento.

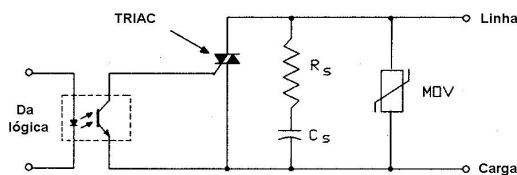



Fig. 9.19. Circuito de saída cc típico

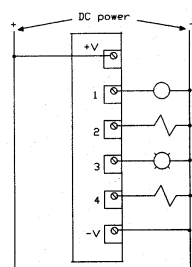



Fig. 9.20. Ligação do módulo de saída ca

Módulos de Saída de contato Seco

Os módulos de saída de contato seco permitem acionar uma carga na saída a partir de um contato seco fornecido por um relé ou chave. A vantagem deste módulo é a de que ele pode manipular tanto cargas ca como cc. As aplicações vão desde chaveamento simples até multiplexação de sinais e interface com outros equipamentos. Alguns fabricantes oferecem módulos com alta capacidade de potência para chaveamento de altas correntes.

Módulos de saída TTL

Os módulos de saída TTL permitem interfacear dispositivos externos compatíveis com estes níveis e dispositivos alimentados por 5 V cc, como LED de 7 segmentos e circuitos integrados digitais. Como os demais módulos de saída, os módulos TTL requerem alimentação externa para atuar na carga.

Módulos E/S Analógicos

A disponibilidade de circuitos integrados de baixo custo e a sua alta escala de fabricação permitiram que o CLP incluísse em sua estrutura uma grande capacidade de manipulação de dados. Isto levou a expansão das capacidades de E/S e a implementação de módulos analógicos e digitais no do CLP.

Os módulos analógicos permitem que o CLP faca diretamente a medição das variáveis do processo e o controle de dispositivos analógicos de campo. Os módulos E/S analógicos permitem o controle e monitoração de tensões e correntes compatíveis com muitos sensores, válvulas, acionadores de motores e instrumentos de processo.

Abaixo estão listados os dispositivos típicos que são interfaceados com os módulos de E/S analógicos :

Dispositivos com módulos de entrada analógicos

Transmissores eletrônicos
Instrumentos analíticos
Potenciômetros

Dispositivos com módulos de saída analógicos

Indicadores analógicos
Drives de motores
Registradores
Transdutores I/P
Válvulas Elétricas

As interfaces analógicas normalmente estão disponíveis para diversos tipos padrão como operação unipolar e diferencial de corrente ou de tensão.

Módulos de entradas analógicas

O módulo de entrada analógica contém o circuito necessário para receber os sinais de corrente e tensão dos dispositivos de campo. Estes sinais analógicos de corrente e tensão são convertidos para uma informação digital por um componente eletrônico chamado conversor analógico digital (A/D). O valor da conversão é uma informação digital proporcional ao sinal analógico que é passado através de uma via de dados com a CPU e armazenada em uma posição de memória para uso posterior.

Tipicamente os módulos de entradas analógicas possuem alta impedância, permitindo interfacea-las com os dispositivos de campo sem causar-lhes sobrecargas ou afetar sua operação. As linhas de entrada geralmente são interligadas aos dispositivos de campo através de cabos blindados para reduzir as possibilidades de ruído elétrico de fontes externas. O estágio de entrada da interface dispõe de filtro e isolação elétrica para proteger os módulos de ruídos.

Módulos de Entrada Analógica Padrão

1 a 5 V , 0 a 5 V
-5 a +5 V , -10 a +10 V
4 a 20 mA , 0 a 20 mA
-20 a +20 mA
0 a 10 V

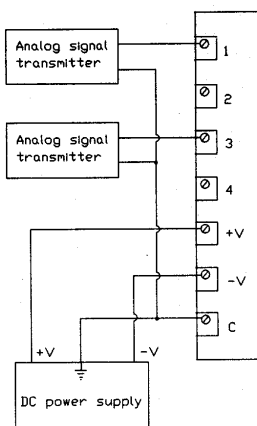



Fig. 9.21. Diagrama de ligação da entrada analógica

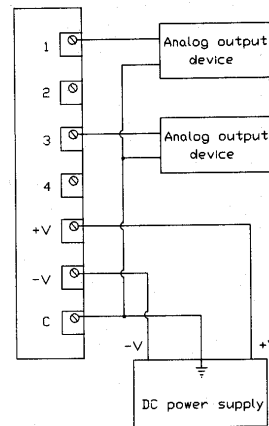



Fig. 9.22. Diagrama de ligação da saída analógica

A maioria dos módulos é projetada para receber 4, 8 ou 16 entradas analógicas. A conversão analógica-digital se faz em 12 ou 14 bits codificados em binário ou BCD. Os valores codificados são armazenados na memória RAM do módulo e enviados em blocos de dados para o processador quando requisitado pelo mesmo.

A configuração dos módulos padrão de entrada e a operação bipolar ou unipolar podem ser selecionadas através de jumpers ou software.

O programa de controle do CLP pode configurar automaticamente as entradas analógicas para as faixas e forma de operação desejada automaticamente no caso de módulos com configuração através de software.

Módulos de saída analógica

O módulo de saída analógica recebe os dados do processador através de uma via de dados. As informações são convertidas para corrente ou tensão proporcional à informação digital através de um dispositivo chamado conversor digital para analógico (D/A) e enviadas para a saída. As demais características são similares às do módulo de entrada analógica.

Módulos E/S de Registros

Os módulos E/S de registros são também chamados de módulos E/S digitais. Estes módulos aumentaram a

capacidade de processamento de sinal em relação aos módulos E/S discretos. Nos módulos E/S discretos somente um bit de informação é necessário para ler uma entrada ou controlar uma saída. Diferentemente, os módulos digitais permitem que vários bits sejam interfaceados com o CLP para acomodar dispositivos que requerem manipulação de dados de forma paralela, código BCD ou serial.

Com o uso dos módulos E/S digitais, a maioria das variáveis de processo pode ser introduzida e monitorada com a interface apropriada.

Módulos de entrada BCD

Os módulos de entrada BCD fazem a comunicação paralela de dados entre o processador e os dispositivos de entrada. Estes módulos são usados para a entrada de parâmetros em localizações especificas da memória do CLP para uso do programa. Parâmetros típicos entrados desta forma são presets de contadores, timers, e set points de controle de processo.

As entradas geralmente aceitam níveis TTL em uma faixa de 5 a 24 V cc e são agrupados em módulos contendo 16 ou 32 bits. Instruções específicas do controlador controlam o fluxo de informações das entradas para a memória do CLP.

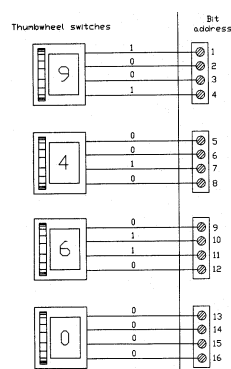



Fig. 9.23. Módulo de interface de entrada BCD

Módulos de saída BCD

Os módulos de saída BCD fazem a comunicação paralela de dados entre o processador e os dispositivos de saída. Este tipo de módulo é geralmente usado para a saída de parâmetros calculados ou obtidos de entradas analógicas para informar um dispositivo externo.

Quando o processador executa uma instrução específica de transferência, os dados são colocados na saída para o dispositivo externo.

Módulo Contador/Acumulador

O módulo Contador/Acumulador permite a contagem de eventos em alta velocidade ocorridos em dispositivos externos. A contagem é normalmente independente da varredura do programa do CLP. A razão para isto é muito simples: se o contador fosse dependente da varredura do CLP, os pulsos de alta velocidade da entrada poderiam ser perdidos entre uma varredura e outra.

As aplicações típicas para este tipo de interface são a contagem de pulsos, medição de freqüência e função de encoder, onde a velocidade de contagem é superior a limitação do CLP. Exemplo típico é em indústria de papel ou a continua.

Módulos de E/S Inteligentes

Chama-se módulo inteligente aquele que se baseia no microprocessador. O microprocessador possui uma altíssima capacidade de computação matemática, intertravamento, lógica e seqüencial. Os módulos E/S convencionais atendem 90% das necessidades de E/S digitais de um controlador programável. Porém, para processar certos tipos de sinal de maneira eficiente, os módulos inteligentes são mais convenientes. Estas interfaces especiais incluem os condicionadores de sinal, como uma entrada de termopar onde além da leitura do valor deve-se efetuar a linearização para que o dado represente a grandeza física medida. Estes módulos podem efetuar todas as tarefas necessárias para estes procedimentos aliviando a carga de programa e velocidade da CPU principal. Adicionalmente, estas tarefas são executadas independentemente da varredura do programa possibilitando a aquisição de dados em alta velocidade.

As aplicações destes módulos abrem mais ainda o leque de aplicações do controlador programável permitindo a

constituição de sistemas de aquisição de dados como SCADA, aquisição de dados, sistema de controle distribuído e outras aplicações complexas.

Módulos de entrada termopar

É projetado para aceitar diretamente as entradas de um termopar e fazer a compensação de junta fria, linearização da medição e detecção de erros. A operação deste módulo é similar aos módulos de entrada analógica discutidos anteriormente com exceção para o baixo nível de sinal tratado aqui (mV). Os dados obtidos por estes módulos podem ser usados pelo CLP para fazer controle, indicação, registro, alarme ou intertravamento

Módulos de Motor de passo

O módulo de motor de passo gera um trem de pulsos compatível com os tradutores do motor de passo. Os pulsos enviados para o tradutor normalmente representam comandos de distancia, velocidade e direção para o motor.

Este módulo aceita comandos de posição do programa do CLP. A posição é determinada por um preset do contador de saída de pulsos. A aceleração-desaceleração e reversão são determinadas por um controle de rampa de pulsos que varia o período dos mesmos. Estes comandos são geralmente especificados durante o programa de configuração e uma vez definidos passam a executa-los sob demanda do programa principal do CLP.

Módulos de Controles de Malha

Estes módulos são usados para efetuar controle de malha fechada com algoritmos PID. As principais diferenças de operação destes módulos é que o processamento do controle PID é feito no próprio módulo aliviando a CPU principal. Além do mais, os algoritmos PID encontrados no CLP, às vezes, não atendem as necessidades de tempo e precisão requeridas para o controle.

Avanços dos Módulos E/S

Os fabricantes de CLP cada vez mais estão fornecendo outros tipos de capacidades de entrada e saída para seus produtos. Há, porém, muitos equipamentos de terceiros que ajudam o interfaceamento do CLP com o campo. As novas capacidades E/S que estão sendo oferecidas incluem resposta mais rápida, novas capacidades analógicas, inteligência, contadores de pulso de alta velocidade, contato seco e módulos especiais.

A resposta rápida E/S é normalmente oferecida em versões analógica e digital. Os módulos discretos de resposta rápida são facilitados pela lógica do CLP mas a saída não se baseia nos tempos de varredura da lógica ladder para ser atualizada. Os módulos analógicos rápidos fornecem conversão mais rápida analógico-para-digital (A/D) e digital-para-analógico (D/A). Isto torna o CLP mais rápido para controlar malhas PID e fazer medições analógicas.

As capacidades E/S analógicas para o CLP estão sendo expandidas das versões convencionais 4-20 mA, 0-5 V, 0-10 V para incluir entradas diretas de termopar e RTD. Estes módulos aceitam tipicamente 8 a 16 pontos cada e podem ser acomodados tipos diferentes de termopar e RTD.

Os módulos E/S inteligentes incluem todos módulos que são capazes de executar funções de processamento. Por que as tarefas desempenhadas pelo CLP são distribuídas, é conveniente se ter maior velocidade e confiabilidade para todo o sistema. Os módulos E/S inteligentes dão capacidades múltiplas adicionais, incluindo armazenamento e recuperação de memória, tarefas de computação e comunicações. Os módulos de memória fornecem espaço adicional para armazenar pontos de dados, mensagens de alarme, tabelas. Este enfoque deixa a memória principal de operação livre para as tarefas de controle. Os módulos de computação dão ao CLP a habilidade de executar funções de computador usando uma linguagem como C++. As tarefas de tempo real são deixadas na memória principal, mas algumas tarefas de interface do operador podem ser colocadas no módulo do computador.

Os módulos de comunicações podem prover o CLP com uma faixa de capacidades, de simples strings de saída

ASCII para uma impressora ou display podem ser contidas fora da memória principal do CLP e os dados podem ser saída quando requerido. As capacidades de colocar em circuito a comunicação do sistema todo dado ao projetista a habilidade de distribuir interface de operador ou um computador supervisor.

Módulos de contador de pulso de alta velocidade fornece a habilidade de interfacear o CLP com turbinas medidoras de vazão, motores de passo e codificadores ópticos. Os pulsos de alta velocidade não podem ser normalmente interfaceados com entradas do CLP por causa do tempo de varredura da lógica ladder. Estes módulos fornecem uma interface que não se baseia no tempo de varredura, de modo que o CLP é capaz de monitorar os pulsos que indicam posição ou vazão.

Os módulos com contatos secos são oferecidos pelos fabricantes e por terceiros. Estes módulos resolvem o problema associado com triacs, baixa potência e incerteza do status de falha.

Os módulos especiais são projetados para resolver outro problema de interface. Os módulos posicionadores X/Y, de controladores de posição, saídas de motores de passo e acesso de manutenção podem ser incluídos nesta categoria. Estes módulos podem ser considerados uma extensão da tecnologia de controle distribuído. Os módulos de relógio (clock) que são colocados no bus E/S podem ser considerados também como parte deste grupo. Estes módulos fornecem funções de tempo real, horário e data quando perguntado ao CLP. Eles devem ter bateria de backup para garantir o funcionamento durante a falta de energia.

3.5. Módulos de Comunicação

Os módulos de comunicação são também de entrada/saída porém eles são responsáveis principalmente pela ligação do CLP com os seus periféricos. Os principais módulos de comunicação do CLP são

1. ASCII
2. Adaptador de E/S remotas
3. Serial
4. interface de Redes.

Módulos de Comunicação ASCII

São usados para enviar e receber dados alfanuméricos de equipamentos periféricos e o controlador. Equipamentos periféricos típicos são Terminais de vídeo, impressoras, instrumentos digitais e quaisquer instrumentos que possam se comunicar através de portas seriais tipo RS-232 ou 422 (malha de corrente). Geralmente este módulo possui processador e memória próprios que executam as tarefas de handshaking e transferência de dados.

Módulos Adaptadores de E/S Remotas

São usados em controladores de geralmente grande porte e permitem a instalação de sistemas de E/S localizados a distancias maiores da CPU principal. Os subsistemas de E/S são geralmente conectados usando uma configuração serial ou estrela. A comunicação é feita serialmente a alta velocidade entre a CPU e os sistemas remotos.

A aplicação de E/S remotas em grandes sistemas podem representar grande economia em fiação e trabalho e dinheiro. Além disto, elas permitem a manutenção de subsistemas independentemente da operação principal o que representa uma grande vantagem em sistemas de maior porte.

A comunicação pode ser feita através de par trançado, cabo coaxial ou fibra óptica. As velocidades de comunicação variam de 9600bauds a 1Mbaud dependendo do fabricante.

Elos de Comunicação em Rede

A evolução das interfaces homem-máquina e o barateamento dos microcomputadores abriram o caminho para a troca de informações entre o chão de fabrica e os demais departamentos da empresa como laboratório, expedição, controle da produção.

Para executar estas tarefas de comunicação, os fabricantes de CLP implementaram módulos de comunicação que permitem a integração de um CLP a outros CLP e a computadores corporativos.

Estes módulos geralmente adotam padrões de comunicação em rede como

Ethernet ou proprietárias com Gateways que permitem a troca de informações entre computadores e os controladores programáveis.

Os módulos de rede hoje oferecidos pelos fabricantes permitem opções como a de execução de controle distribuído, onde vários controladores de pequeno porte controlam células de produção. Estas células interligadas via rede podem ter sua operação supervisionadas por estações baseadas em microcomputadores ou computadores.

Sistemas de aquisição de dados e mini SDCD's se tornaram viáveis graças a este tipo de interface.

3.6. Níveis de Tensão, Corrente e Isolação

A IEC (International Electrotechnical Commission) tem especificado as tensões padrão mostradas na Tab. 4.2. para fontes de alimentação, entradas digitais e saídas digitais dos controladores programáveis. A norma IEC também define os parâmetros adicionais para as entradas e saídas digitais, os parâmetros especificados pelo fabricante deveriam ser comparados com os definidos na norma IEC para garantir a conveniência de uma particular módulo de entrada ou de saída para o seu uso pretendido no sistema de controle.

As faixas de sinal especificadas pela IEC para entradas e saídas analógicas para CLP são mostradas na Tab. 4.2 e Tab. 4.3, respectivamente. A norma IEC lista um número de características cujos valores são os fornecidos pelo fabricante, tais como impedância de entrada, máximo erro de entrada, tempo e método de conversão e o que deve ser checado com as exigências de uma particular aplicação de controle. Além das simples entradas e saídas digitais e analógicas, pode haver controladores de malha fechada residentes no bus de E/S do sistema de CLP. Neste caso, as linguagens de programação para o CLP tipicamente fornecem outros elementos de linguagem, para suportar a configuração e o controle supervisor destes controladores "escravos" de malha fechada.

As interfaces de comunicação para o CLP fornecem muitas combinações diferentes de conectores, níveis de sinal, taxas de sinalização e serviços de comunicação. As especificações do fabricante destas características devem ser verificadas com as normas aplicáveis, para garantir o cumprimento dos níveis necessários de desempenho e compatibilidade do sistema em todos os equipamentos de controle de uso geral no sistema.

Tab. 4.2. - Valores e Faixas de Operação de Fontes de Alimentação e Interfaces de CLP

Tensão	Recomendações		Nota
	Fonte	Sinais E/S	
24 V cc	Sim	Sim	1
48 V cc	Sim	Sim	
24 V ca	Não	Não	2
48 V ca	Não	Não	
120 V ca	Sim	Sim	
230 V ca	Sim	Sim	
400 V ca	Sim	Não	

Notas:

a) A tolerância para as tensões cc é de -15% a +20%

b) A tolerância para as da tensão ca é de -15% a +10%. As tensões ca são dadas em rms.

c) Ver a norma para CLP para notas e valores especificados adicionais.

Tab. 4.3. - Valores para Entradas Analógicas

Faixa de sinal	Impedância de entrada
-10 a +10 V	> 10 kΩ
0 a 10 V	> 10 kΩ
1 a 5 V	< 5 kΩ
4 a 20 mA	< 300 Ω

É padrão que todos os canais E/S sejam isolados eletricamente do processo controlado, através de circuitos

óptico-isoladores nos módulos E/S. Um circuito óptico-isolador consiste de um diodo emissor de luz e um foto-transistor formando um par óptico-isolador, que permite a passagem de pequenos sinais através deles, mas que grampeia qualquer pico de tensão, fornecendo uma proteção contra transientes de chaveamento e picos de alimentação, normalmente até 1500 V.

Em CLP pequeno, em que os pontos E/S estão fisicamente colocados em uma única caixa, por questão de economia, todas as entradas são de um tipo (p. ex., 24 V) e todas as saídas são iguais (p. ex., 240 V triac). O CLP modular tem maior flexibilidade para E/S, sendo possível a seleção e combinação de vários tipos diferentes de módulos de entrada e saída.

Em todos os casos as unidades E/S são projetadas com a finalidade de simplificar a ligação dos sensores e atuadores do processo ao CLP. Por este motivo, todo CLP é equipado com terminais padrão a parafuso ou plug-in em cada ponto E/S, permitindo a rápida remoção e substituição de um cartão E/S defeituoso.

Cada ponto E/S tem um único endereço ou número de canal que é usado durante o desenvolvimento do programa para especificar a monitoração de uma entrada ou a ativação de uma saída dentro do programa. A indicação do status dos canais E/S é feita por diodos LEDs no CLP ou na unidade E/S, possibilitando a verificação da operação das entradas e saídas do processo.

3.7. Periféricos

Introdução

As estações de operação são equipamentos projetados para permitir a interação do operador com o CLP durante a operação normal, não necessariamente durante a programação ou pesquisa de defeito.

As melhorias de E/S incluem todas as capacidades que não são ordinariamente fornecidas com o CLP.

As ferramentas de programação e documentação podem ser fornecidas pelo fabricante e por outros vendedores.

As estações de operação incluem as fornecidas pelos fabricantes e devem ser usadas com seu CLP particular e aquelas fornecidas por terceiros para uso com um CLP de determinada marca ou qualquer um. Estas estações podem incluir equipamentos como módulos de acesso a Timer/Contador, módulos de acesso a terminais de dados, consoles gráficos coloridos, computadores, impressoras e estações manuais para backup.

Interface Homem-Máquina

Muitos CLPs possuem uma Unidade de Interface do Operador, que faz parte do sistema padrão ou é oferecida como opção. A unidade de interface é montada diretamente no CLP mas pode também ser projetada para ser montada no painel e ligada ao CLP. As funções incluem acesso aos dados de registro leitura/escrita, programação e diagnostico. Alguns equipamentos específicos fornecem ao operador a interação com os registros internos do CLP e as tabelas de malha, dando ao projetista do sistema a possibilidade de alterar as variáveis em tempo real, sintonia e inspeção de malha, controle manual de saídas analógicas e a informação tipo menu do processo. A entrada não autorizada de dados é evitada através de software, proteção com chaves ou ambas.

Alguns CLPs podem ter comunicação diretamente com terminais de dados não microprocessados. Os operadores entram os dados com caracteres especiais de controle para a porta de comunicação do CLP. Os terminais de dados podem ser fornecidos em versões industriais, apropriadas para o chão de fabrica, ou em máquinas de escritório para entradas de dados por um supervisor. Este tipo de interface de operador não é muito amigável para o usuário.

Os consoles gráficos coloridos oferecem gráficos do processo e facilidades de comunicações para várias partes do CLP simultaneamente. Estes sistemas podem ser simplesmente comprados e colocados em linha com um mínimo de esforço de engenharia ou podem requer alguma programação. As

diferenças básicas estão na flexibilidade. Aqueles que não requerem programação não fornecem ao operador os gráficos e menus necessários. A facilidade de comunicação com os diferentes tipos de CLP também varia com o tipo do CLP. Finalmente, o método de gerar as páginas gráficas difere muito. A maioria dos consoles gráficos coloridos oferece várias páginas de gráficos que não animadas pelas tabelas de dados de leitura no CLP. O operador entra com os dados por meio de teclados padrão, teclados industriais configuráveis pelo usuário, canetas de luz ou telas de toque (touch screen). As páginas diferentes de gráficos podem ser selecionadas com menus pré-formatados ou menus programados pelo usuário ou pelo fornecedor. As estações de desenvolvimento podem ser necessárias para dar ao usuário final a habilidade de alterar os menus gráficos ou os comandos chave depois que o projeto inicial é completado.

Os sistemas de computador podem ser usados para desempenhar as funções de interface homem-máquina. Na realidade, os consoles gráficos coloridos são simplesmente computadores com ações de software de gráficos padrão e comunicação. Muitos CLPs possuem módulos com habilidade de converter via RS232 o protocolo para quase qualquer computador. Os softwares de comunicação e de aplicação devem ser gerados para fornecer uma interface. Muitos fabricantes e casas de sistemas fornecem pacotes de comunicações para que vários CLPs rodem em computadores pessoais. Estes sistemas pequenos oferecem interfaces de operador para o CLP de baixo custo, fornecendo capacidade de manipulação de dados e a habilidade de ser montado em uma arquitetura distribuída. Deste modo, os usuários de CLP podem estar seguros que seu investimento será protegido da automação da fabrica. Os microcomputadores multitarefa, acesso de grande quantidade de memória RAM e ROM, possuem suporte próprio de software e são capazes de serem ligados fornecendo um bom investimento tem termos de funções de interface do operador e capacidade do sistema total.

Impressora

As impressoras são muito importantes para o sistema de CLP, como ferramenta de desenvolvimento e para manipular as funções de interface do operador. Muitos CLPs podem fornecer comunicações diretamente para impressoras convencionais. Um sistema de CLP isolado pode fornecer relatórios de desempenho e listagem de alarme sem a necessidade de um computador adicional. Esta característica é usualmente limitada, desde que o CLP não foi projetado principalmente para controlar a máquina do processo. Grandes quantidades de dados, relatórios sofisticados de impressão e alarmes múltiplos não estão realmente dentro do objetivo de um sistema CLP isolado. Este tipo de manipulação de dados e muito trabalhoso e requer muita memória do CLP.

Estação manual

As estações manuais de controle são importantes como reserva (backup) em caso de falha do CLP controlando malhas com PID. Os módulos de aceso à malha fornecem o controle manual mas ainda se baseia na integridade do CLP, de modo que elas são realmente manuais no sentido de fiação física. Uma estação de controle manual é importante em um sistema de controle distribuído porque ela dá um verdadeiro controle manual das malhas no local ou na sala de controle, mesmo quando os controladores locais estejam desligados.

4. Manutenção do CLP

A manutenção preventiva do CLP inclui:

1. Verificação periódica nos apertos dos parafusos dos terminais dos módulos E/S. Eles podem ficar frouxos com o tempo, principalmente em locais com vibração mecânica.
2. Verificar periodicamente os terminais de conexão quanto a corrosão. Umidade e atmosfera corrosiva causam ligações elétricas ruins. Internamente, os circuitos impressos e

conectores podem também sofrer corrosão.

3. Garantir que os componentes estão sem poeira. A camada de poeira impede o resfriamento dos circuitos do CLP.
4. Ter partes de reposição críticas estocadas. Os módulos de entrada e saída são os componentes do CLP que falham mais freqüentemente. O estoque de pecas de reposição é essencial se o fabricante não possui estas pecas para pronta entrega e se ele está distante. As quantidades estocadas dependem dos custos das pecas e do tempo de parada do sistema em caso de falha.
5. Manter uma copia reserva do programa de operação em disquete ou em papel. Estes registros devem ser mantidos distantes da área operacional do CLP. Programas muito longos ou complexos devem ter copias reserva em locais separados para evitar sua perda em caso de incêndio ou roubo.

5. Mercado do CLP

A firma de consultoria Frost & Sullivan (F&S), Mountain View, CA, fez uma análise qualitativa e quantitativa do mercado do CLP em termos de produto e segmentação geográfica. Suas conclusões são:

1. O mercado de CLP continuará a crescer em termos de unidades e receita.
2. O CLP será aplicado em uma variedade crescente de usuários finais enquanto a automação de manufatura irá crescer.
3. Haverá novas oportunidades de entradas no mercado para produtos e serviços muito especializados. O mercado de CLP genérico continuará sendo dominado por poucas grandes empresas internacionais (e.g., Allen Bradley, Simens).
4. O CLP está aumentando sua
   a) funcionalidade,
   b) potência de processamento e
   c) habilidade de comunicação com outros CLPs e sistemas digitais
   d) faixa de especificações
   e) de modo que haverá um aumento da demanda, também por causa de seu preço competitivo.
5. Embora o CLP se pareça cada vez mais com um computador pessoal, ele não será substituído por um CP, porque o CLP é mais de usar que o CP.
6. O maior crescimento é esperado no início da faixa do mercado, ou seja, micro e mini CLP, por causa do crescente uso de sistema de CLPs em rede e descentralizado.
7. A potência de processamento será distribuída para módulos remotos do CLP ou nos instrumentos inteligentes de campo (transmissores e válvulas), em vez de ser concentrada em um grande CLP centralizado.
8. Em 1995, a distribuição dos CLPs foi:

Pequeno	Médio	Grande
US$ 500 M	US$ 480 M	US$ 300 M

9. Por causa das normas cada vez mais rigorosas, o segmento que tem uma rápido crescimento é o de CLP tolerante a falha.
10. Por causa de regulações de meio ambiente e poluição, o segmento que mais usará CLP é o de tratamento d'água e tratamento de efluentes.
11. Outras indústrias que usarão CLP incluem: alimentos, bebidas, utilidades e petroquímicas.

CLP Hitachi

Especificacao e características típicas de um CLP industrial (Hitachi)

Fig. 9.24. Componentes de um Controlador Lógico Programável (Hitachi)

CLP Hitachi

A configuração do sistema do CLP EH-150 é mostrada abaixo.
O EH-150 é um controlador lógico programável modular com a configuração mostrada abaixo na **Fig**. 2.1.

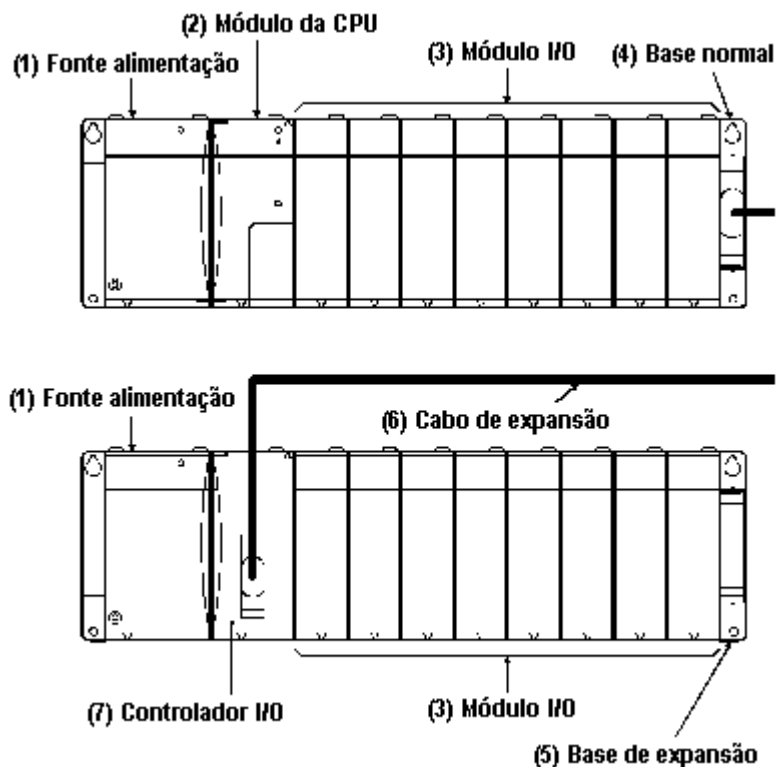



Fig. 9.25 Diagrama de configuração do Sistema EH-150

No.	Dispositivo	Descrição da função
1)	Fonte de alimentação	Converte a tensão de alimentação alternada em tensão contínua a ser usada dentro do EH-150.
2)	Modulo da CPU	Executa as operações baseando-se no conteúdo do programa do usuário, recebe entradas e controla saídas
3)	Modulo I/O	Módulo de entrada discreta e analógica, módulo de saída discreta e analógica.
4)	Base normal	Base em que a fonte, CPU e módulos de entrada e saída são montados.
5)	Base de expansão	Base em que a fonte, CPU e módulos de entrada e saída são montados.
6)	Cabo de expansão	Cabo que liga os controladores I/O na base normal e na base de expansão.
7)	Controlador I/O	Interface entre base de expansão e módulo de CPU.

* Expansão para (2) é possível somente quando usando a forma EH-CPU208/308/316.
* A base comum (4) e a de expansão (5) são compartilhadas.

Especificações Funcionais

As funções disponíveis no EH-150 são descritas na tabela abaixo.

No.	Item	Descrição da função
1	Funções básicas	As seguintes funções podem ser conseguidas quando construindo um sistema usando o CLP EH-150. 1) Um sinal de entrada é recebido do objeto de controle, operação são feitas de acordo com o conteúdo do programa criado pelo usuário e os resultados são saídas como um sinal de saída. Também, os resultados da operação e a informação durante o processo são retidos na área interna da saída. 2) A alimentação é fornecida ao modulo principal, o sistema começa a rodar e a operação descrita acima é executada continuamente até que a alimentação seja desligada ou o sistema pare de rodar 3) A informação retida internamente pode ser extraída por um dispositivo ligado externamente ou pode ser colocada em outra informação. Esta informação é inicializada no momento que o sistema começa a rodar mas ela pode também ser retida de acordo com ajustes do usuário. 4) O status de operação pode ser confirmado com o display do LED do módulo da CPU ou do módulo I/O ou através de dispositivo externo ligado convenientemente.
2	Ajustes e display	O seguinte é disponível para o usuário ajustar ou confirmar vários tipos de status de operação. 1) Chave de ajuste (thumbwheel do módulo da CPU) Isto ajusta a função de comunicação e o modo de operação. Ele pode também instruir partida e parada. 2) Display com LED (módulo da fonte, modulo da CPU e módulo I/O) Indica o status do sistema de alimentação, status de operação e status I/O. 3) Conector (módulo da CPU, base normal , controlador I/O) Isto pode conectar externamente com dispositivos através de RS-232C ou pode também ser expandido com instalação de outros módulos I/O. 4) Bloco terminal (módulo da fonte, módulo I/O) Faz a conexão da alimentação e dos sinais com o objeto de controle.
3	Número de pontos I/O	O número de pontos que podem ser controlados com relação ao objeto de controle é o seguinte: 1) I/O Externo Atualmente, é usado módulo de 16 pontos, com um total de 128 pontos para o EH-CPU 104 e 256 pontos para EH-CPU 208/308/316. Os números I/O para entradas são indicados por X, WX, DX e saídas são indicadas por Y, WY, DY. 2) Saídas Internas São áreas para armazenar temporariamente a informação. Os números I/O são M, WM, DM, R, WR, DR, etc. 3) Um contador temporizado é fornecido internamente. 4) Matriz (somente correspondendo a substituição) Matriz de números I/O pode ser indicada através de parêntesis (( )) em torno dela.

No.	Item	Descrição da função
4	Memória do programa do usuário	O programa onde o conteúdo de controle é descrito pode ser armazenado. A memória para isto está no módulo da CPU e a capacidade difere para cada tipo de CPU. 1) A memória tem uma função onde seu conteúdo é retido mesmo se a bateria acaba. Por causa disso, é necessário inicializar a memória desde que haja dúvida após a unidade tenha sido comprada.. 2) A programação é feita usando o software aplicativo (LADDER EDITOR) e o dispositivo periférico para o CLP da série H. 3) Os comandos que podem ser usados são aqueles designados pelo ladder da série H. Ver a lista de comandos detalhados do EH-150. 4) Não é necessária uma bateria para reter o conteúdo do programa do usuário. Sempre armazenar os programas criados em um disco flexível para o caso de acontecer algo inesperado.
5	Método de Controle	Com o EH-150, os programas do usuário são convertidos em bateladas quando a operação começa e, após a conversão, os programas são executados para que possam ser lidos um a um. 1) O método usado para os dados I/O consiste na varredura dos dados I/O (informação) (execução do cabeçalho do programa até of final), sua atualização em grupo. Se houver necessidade de refresh do I/O externo no meio da varredura (método refresh), usar o comando refresh.. 2) Além do programa que será executado normalmente, é criado um programa de varredura periódica que interrompe o programa normal em intervalos determinados e é executado. Os intervalos de tempo são 10 ms, 20 ms, and 40 ms. 3) O programa do usuário é executado do cabeçalho do programa para o final e é uma vez mais repetido depois que o processamento do sistema atualiza o valor do temporizador que passou, refresh como I/O e executa a comunicação com os dispositivos periféricos.
6	Controle da operação/parada	A operação e parada do módulo CPU são normalmente feitas pelo usuário.. 1) Ligar a chave RUN para começar a operação. Desligar a chave para parar a operação. 2) As operações de partir e parar podem ser feitas via comunicação dos equipamentos periféricos (PC), alterando o modo REMOTE, usando a chave de ajuste. 3) As operações de partir e parar podem ser feitas com entradas externas ou saídas internas designando as entradas de controle da operação com um dispositivo de programação. 4) Além da operação descrita acima, se um defeito é detectado no sistema enquanto ele estiver rodando, a operação para e as saídas são desligadas (OFF). 5) Se há falta de energia e depois ela volta, enquanto o sistema estiver rodando, a operação começa. Quando a alimentação falta, desligar a alimentação para o EH-150 e depois desligar a alimentação da entrada externa. Quando ligar de novo a alimentação, ligar a alimentação da entrada externa antes de ligar a alimentação. 6) Quando começar a operação, fazer depois de limpar a informação interna que não é projetada para ficar armazenada durante a falta de alimentação. Quando parar a operação, deixar a informação interna como está, desligar as saídas e depois parar. 7) Quando a alimentação ficar cortada por período maior do que o tempo permitido pela falta de energia momentânea, assim dependendo do status da

		carga do sistema, a operação continua ou o sistema percebe que ocorreu uma falta de alimentação e reinicia a operação. Para garantir que a operação recomeça corretamente, manter a alimentação desligada por um minuto ou mais.
7	Parâmetros de operação	Cada tipo de condição para operação do EH-150 pode ser ajustado. Os ajustes possíveis para operação quando ocorre erro são dados abaixo. 1) A operação pode ser continuada quando a informação I/O não combina.. 2) Pode se estabelecer o tempo de verificação de sobrecarga. O valor inicial é 100 ms e o módulo quando o tempo para uma varredura dura mais do que a sobrecarga ajustada verifica o tempo (erro de sobrecarga). 3) A operação pode ser feita para continuar quando ocorrer um erro de sobrecarga. 4) Quando houver falha de alimentação (falta de energia), a área da saída interna para reter a informação e a faixa do contador temporizado pode ser projetada. E o ajusta abaixo é possível. 1) O nome do programa do usuário pode ser registrado. 2) Uma senha pode ser programada de modo que pessoas não autorizadas não podem ter acesso ao programa. 3) É necessário registrar o tipo do módulo I/O usado como uma tabela de atribuição I/O De modo a criar esta tabela de atribuição, o tipo do módulo I/O que é ligado pode ser lido.
8	Alteração *on-line* na operação RUN	Uma seção de um programa pode ser revista enquanto ele estiver rodando. 1) Se a revisão é feita com um dispositivo de programação e a mudança on-line é feita em RUN, o programa do usuário na CPU é alterado e o programa alterado é chaveado internamente no final da varredura e a operação continua com o novo programa. 2) Quando um comando de controle deve ser incluído na revisão do programa, fazer as alterações depois de primeiro executar o procedimento de alteração do comando de controle no dispositivo de programação e verificar a segurança. 3) Até a operação começar para continuar com o novo programa, ocorre um período de parada [halt period] quando o módulo não roda. A informação de entrada externa não está sendo recebida durante este período, assim deixe muita permissão no tempo para executar uma mudança on-line em RUN.
9	Set/reset forçado	Set e reset forçados do I/O designado podem ser feitos do dispositivo de programação ligado ao módulo da CPU.
10	Saída forçada	A saída pode ser forçada com relação ao número I/O designado do dispositivo de programação ligado ao módulo da CPU. Para I/O que não estão designadas, as saídas ficam desligadas.
11	Função do relógio calendário (apenas EH- 208/308/316)	O EH- 208/308/316 tem uma função relógio calendário. 1) O ano, mês, data, dia da semana, hora, minuto e segundo podem ser ajustados. 2) Há uma função para fazer ajustes em unidades de 30 segundos. 3) Quando não é instalada uma bateria, a informação do relógio calendário não é retida quando falta energia. O relógio calendário precisa ser ajustado de novo.
12	Porta dedicada	Esta é uma porta de comunicação com protocolo dedicado ao CLP da série H. O comando de comunicação chamado código de tarefa é definido na porta. 1) um dispositivo de programação que pode ser conectado. 2) As portas que podem ser usadas como dedicadas são as Port 1 and Port 2. A velocidade de transmissão e outros parâmetros pode ser chaveada usando a chave de ajuste.

No.	Item	Descrição da função
13	Porta de uso geral	Esta é uma porta serial que pode ser controlada pelo programa do usuário. Os vários ajustes para a comunicação, transmissão e recepção são feitos pelo programa do usuário. A porta 1 pode ser designada para esta função através da chave de ajuste.
14	Controle do Modem (apenas EH-CPU 208/308/316)	Um modem pode ser ligado externamente para uso. Ele se torna operável quando algo chega de fora e depois disto, pode-se fazer a comunicação do código de tarefa. Quando transmitindo do EH-150, ajustar a porta como porta de uso geral e fazer seu controle independente do programa do usuário. A porta 1 pode ser designada para esta função através da chave de ajuste.
15	Autodiagnóstico	Podem ser feitos testes de autodiagnóstico para os seguintes itens: 1) Microcomputador 2) Área do programa do sistema 3) Memória 4) Programa do usuário 5) Área de saída interna 6) I/O montadas
16	Manipulação anormal	Quando ocorre uma anormalidade, o código de erro que mostra o conteúdo do erro ser saída para saída interna especial WRF000 como um valor hexadecimal. Também, o erro é indicado externamente pela lâmpada ERR. Se o nível de erro é alto, a CPU pára a operação mas dependendo do erro, a operação pode ser continuada usando ajustes do usuário. Se ocorrerem vários erros, o código de erro com maior severidade é mostrado. A informação detalhada é também mostrada para a saída interna especial. Também, esta informação é sempre registrada na memória de falha de alimentação, de modo que a informação pode ser referenciada mesmo depois da alimentação ter sido cortada. (Porém, é necessário usar uma bateria). A limpeza da informação de erro pode ser feita ligando R7EC.
17	Código de tarefa	Combinando os códigos de tarefa individuais, as seguintes funções podem ser realizadas pelo programa no computador host: 1) Controle da CPU (controle de RUN/STOP da CPU, ocupada/liberada, leitura do status da CPU). 2) Controle I/O (vários tipos de monitoração) 3) Escrita da memória (limpar tudo, transferir batelada) 4) Leitura da memória (leitura de programas) 5) Resposta (várias respostas da CPU)
18	Comando	Programação pode ser feita para várias finalidades e usos, combinando diagramas ladder e linguagem de comando.

Note: O EH-150 não suporta algumas funções que são suportadas pelo resto da série H. Não selecionar a função de **tracing from the debugging**, **tracing**, **forcing** e **simulation** do EH-150, porque irá ocorrer um erro de ocupação quando os dispositivos periféricos forem usados e a função trace é selecionada. Se ocorrer um erro de ocupação, fazer a recuperação indo primeiro off-line e depois voltando para on-line e reconectando.

10

Controle Supervisório e Aquisição de Dados

1. Aquisição de Dados

1.1 Introdução

A aquisição de dados é a coleta de informação para fins de armazenamento e uso posterior, como análise dos dados e

conseqüente controle e monitoração do processo. Nas aplicações industriais, a aquisição de dados deve ser em **tempo real,** ou seja, o sistema deve ter a habilidade de coletar os dados ou fazer uma tarefa de controle dentro de uma janela aceitável de tempo. A duração da janela de tempo depende de quão rapidamente o sistema deve responder, que é uma função da velocidade e exatidão requeridas para uma dada aplicação.

O equipamento usado para coletar dados é chamado de **sistema de aquisição de dados**. Este sistema é tão utilizado, que vários fabricantes de equipamentos o oferecem em pacotes mais ou menos padronizados, combinado o controle supervisório e aquisição de dados (SCADA – *Supervisory Control And Data Aquisition*), rivalizando em aplicações com os sistemas digitais de controle distribuído (SDCD) ou os controladores lógico programáveis CLP). Fabricantes típicos que oferecem equipamentos SCADA são: Motorola, Siemens, Foxboro.

Tal sistema funciona como uma interface entre o ambiente real de parâmetros físicos do processo, que é analógico e o ambiente do computador, que é digital. O diagrama de blocos mostra os elementos mais comumente usados em um sistema industrial de aquisição de dados.

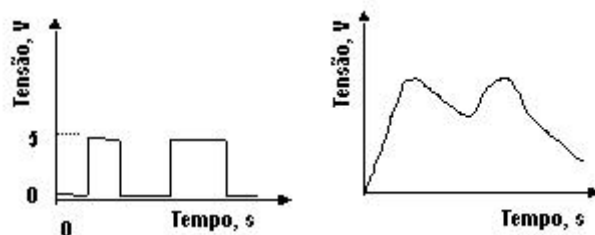



Fig. 11.1. Sinal digital e analógico

1.2. Sistema de Aquisição de Dados

A Fig. 11.3 mostra um sistema de aquisição de dados típico. Os sensores medem as variáveis interessantes do processo. Os elementos de condicionamento do sinal são necessários para converter as saídas dos sensores para uma faixa de sinal comum, tipicamente entre 0 e 5 V. Os sinais condicionados são entrada para um multiplexador de vários canais. O sinal de saída do multiplexador é passado para um circuito sample e hold e um conversor analógico para digital. O conversor analógico para digital dá um sinal de saída digital paralela que passa para uma das interfaces de entrada paralelas do microcomputador. O sinal de saída digital pode também ir para um display digital, onde é apresentado valor de todas as

variáveis medidas, uma de cada vez, mostrada seqüencialmente ou quando comandado pelo operador.

Há ainda um dispositivo seqüenciador programador, que controla e sincroniza a operação do multiplexador, circuito *sample e hold*, conversor A/D e buffer de saída. Quando o sistema de aquisição de dados é baseado em microcomputador, este sincronismo e controle podem ser feitos por programa carregado no microcomputador.

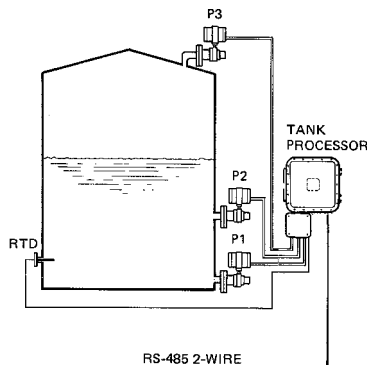



Fig. 11.2. Coleta de dados de tanque de armazenagem

1.3. Sensores

Os dados coletados para os sistemas de aquisição de dados são usualmente analógicos, referentes ao valor numérico de algum parâmetro físico não elétrico, como pressão, temperatura, vazão, nível ou análise. O objetivo do sensor é converter o sinal não elétrico para um sinal elétrico equivalente. O diagrama de blocos de um sensor é mostrado na Fig. 11.3.

As funções do sensor no sistema de aquisição de dados são as de:

1. sentir a presença, tamanho, variação e a freqüência da quantidade medida (mensurando).
2. Fornecer uma saída elétrica que tenha dados quantitativos exatos acerca do mensurando.

Os sensores podem ser classificados de acordo com o princípio elétrico envolvido em sua operação, tais como:

1. Sensor passivo que requer uma fonte externa de alimentação ou excitação.
2. Sensor ativo que não requer uma fonte externa de alimentação.

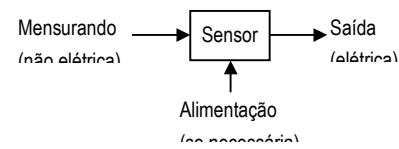



Fig. 11.3. Diagrama de blocos do sensor

1.4. Circuitos condicionadores de sinal

A função do sensor é a de simplesmente identificar e quantificar algum parâmetro físico que varia de algum modo, com o tempo e com o espaço. Como o sistema de aquisição de dados requer valores exatos, lineares, não modificados ou não influenciados por outras variáveis e estas características nem sempre são apanágio dos sensores, é necessário colocar uma interface entre o sensor e o sistema de aquisição de dados para melhorar o formato dos sinais de saída dos sensores.

Estes circuitos são chamados de condicionadores de sinal e fazem as alterações necessárias nos sinais analógicos gerados pelos sensores antes que eles sejam introduzidos no sistema de aquisição de dados. Os tipos mais usados de condicionadores de sinal são:

1. transmissor
2. buffer (casamento)
3. filtro
4. amplificador
5. conversor
6. linearizador

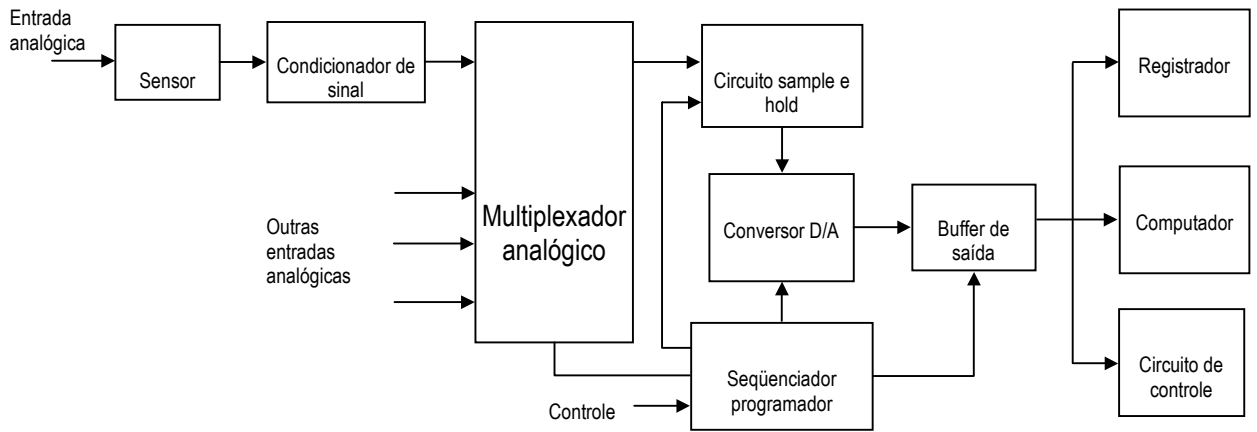



Fig. 11.4. Diagrama de blocos de um sistema de aquisição de dados

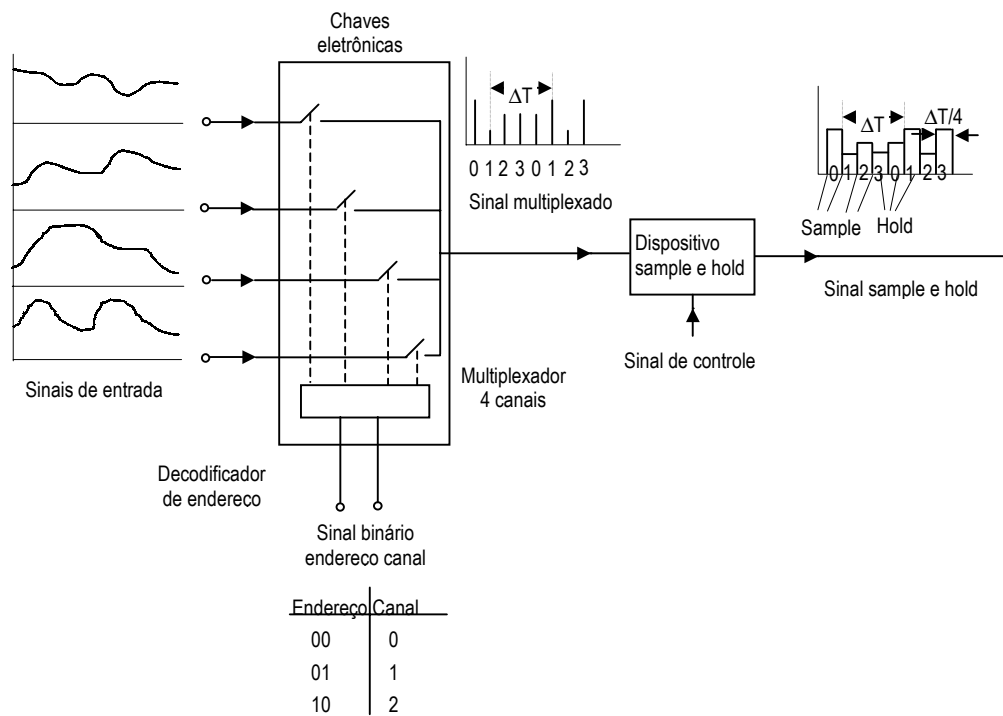



Fig. 11.12. Multiplexagem por divisão de tempo

Transmissor

A transmissão pode ser considerada um condicionamento do sinal. O transmissor possui um sensor, que mede a variável de interesse do processo e sua saída é padronizada e proporcional a este valor medido.

As vantagens do uso do transmissor são:

1. Padronização do sinal e conseqüente padronização dos instrumentos e interfaces receptoras.
2. Isolação do sinal do processo do sistema receptor. Altas pressões e temperaturas são convertidas no sinal padrão do transmissor.
3. Capacidade de levar a informação para locais distantes, sem corrupção ou deformação.

Fig. 11.5. Transmissores em locais remotos

Os sinais padrões de transmissão são:

1. 20 a 100 kPa (3 a 15 psi), pneumática
2. 4 a 20 mA cc, eletrônica.

Buffer

Buffer é o circuito de condicionamento mais direto e básico, usado para casar impedâncias entre a fonte de sinal e o circuito em que a fonte está fornecendo o sinal. Qualquer circuito integrado amplificador operacional (amp op) serve como um bom buffer. O circuito buffer impede que um circuito **carregue** o outro circuito, por causa dos valores das impedâncias de entrada e de saída.

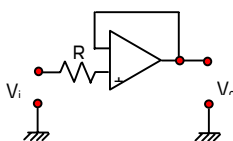



Fig. 11.6. Amp op usado como buffer

Por exemplo, quando se aplica-se uma tensão de 10 V em uma carga de 10 Ω, através de uma fonte com impedância de saída igual a 10 Ω, a tensão usada pela carga é de 5 V. Porém, usando-se um buffer entre a fonte e a carga, a tensão usada pela carga é exatamente a fornecida pela fonte, de 10 V.

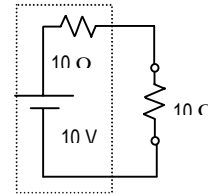



Fig. 11.7. A tensão na resistência de carga é de 5 V

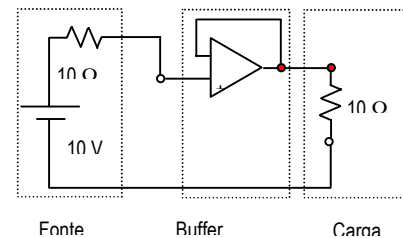



Fig. 11.8. A tensão na resistência de carga é de 10 V, por causa do buffer.

Filtro

Os ambientes industriais onde são montados os sistemas de aquisição de dados introduzem muitos sinais de interferência espúrios, que afetam o desempenho do sistema, no mínimo, introduzindo grandes erros nos valores das medições. Estes sinais indesejáveis são chamados genericamente de **ruído**. Eles podem ser provocados por transformadores, motores elétricos (principalmente partida), disjuntores, chaves, linha de alimentação (60 Hz ou 400 Hz) e outros dispositivos que tenham transiente de tensão.

Embora haja muitos métodos para diminuir ou eliminar estes ruídos, envolvendo projeto, posição relativa dos equipamentos, blindagens, aterramentos, todo sistema de aquisição de dados possui circuitos tipo **filtro**, cuja função é exatamente a de eliminar determinadas faixas de freqüências dos sinais, deixando

passar outras faixas. O filtro pode ser **passivo**, empregando apenas resistores, capacitores e indutores ou **ativo**, utilizando amplificadores operacionais (**amp op**), com ganhos e realimentações.
O desempenho do filtro é geralmente descrito em termos da relação da tensão de saída sobre a de entrada, em diferentes freqüências e pode ser expresso em uma escala logarítmica usando decibel (dB), como:

$$dB = 20 \log_{10}(V_o/V_i)$$

Por exemplo, se o sinal de entrada de um filtro passa baixa é de 540 mV, 60 Hz e o sinal de saída do filtro é de 4 mV, então sua redução vale:

$$dB = 20 \log\left(\frac{4\,mV}{540\,mV}\right)$$

$$= -42{,}6\ dB$$

Nos sistemas de aquisição de dados, a principal fonte de sinal é o sensor. A máxima banda de passagem da maioria dos sensores é cerca de 10 Hz. Assim, filtrar ruído destes sinais gerados pelos sensores é relativamente fácil com um filtro passa baixa (ou corta alta).

Amplificador

Talvez o mais comum tipo de condicionador de sinal seja o amplificador. O amplificador altera o nível ou amplitude do sinal. Embora o termo amplificador implique em aumentar o sinal, rigorosamente o amplificador pode atenuar ou aumentar o nível do sinal.

A atenuação pode ser conseguida através de divisores de tensão (resistores em série). A amplificação requer dispositivo ativo, como transistor com o amplificador operacional.

Conversão de sinal

O condicionamento de sinal às vezes requer a conversão da variação de um parâmetro elétrico em uma variação proporcional de outro parâmetro. Por exemplo, conversão de corrente (usada em transmissão) para tensão (usada localmente), conversão de tensão em freqüência, conversão de resistência em tensão ou corrente. Os circuitos eletrônicos usados nestas conversões envolvem principalmente a **ponte de Wheatstone** e amplificadores operacionais.

A ponte de Wheatstone é um circuito básico conveniente para medir resistências ou para converter uma variação de resistência em uma proporcional variação de tensão. Ele consiste de quatro resistências (uma delas sendo a medida e uma sendo ajustável), uma fonte de excitação e um detector de nulo. Quando se ajusta uma resistência da ponte, de modo que não passa corrente através do detector, então se pode garantir que os produtos das resistências opostas são iguais entre si. Deste modo, pode se determinar uma das resistências, pois as outras três são conhecidas.

Para a conversão de resistência em tensão, usa-se a mesma configuração e toma-se a tensão entre dois pontos do circuito, e esta tensão é linearmente proporcional à variação de uma determinada resistência da ponte.

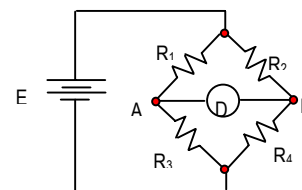
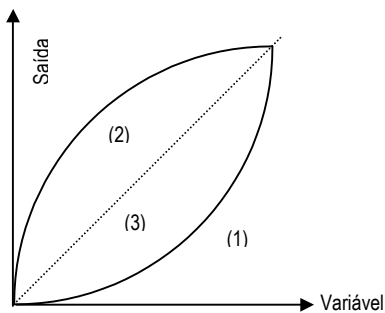



Fig. 11.9. Ponte de Wheatstone. Quando balanceada (corrente por D igual a zero), $R_1 x R_4 = R_2 x R_3$ e portanto, conhecidas três resistência, pode-se determinar a quarta.

Linearização

Embora a linearidade não seja tão importante para o sensor, o sistema de aquisição de dados requer medições lineares. Mesmo saídas de sensores que sejam consideradas razoavelmente lineares podem requerer linearização adicional quando se medem parâmetros dinâmicos.

A saída do sensor pode ser linearizado usando um amplificador que tenha ganho que seja uma função matemática inversa de sua entrada, fornecendo assim uma saída linear. Por exemplo, se a tensão de

sinal de um sensor de temperatura é exponencial, o linearizador deve ter um ganho logarítmico. Outro exemplo, a corrente de saída do transmissor associado à placa de orifício, é proporcional ao quadrado da vazão volumétrica; o linearizador deste sinal deve ter um ganho raiz quadrática.

(1) Curva de transferência do sensor, mostrando a relação não linear entre variável e saída do sensor.

(2) Curva de transferência do linearizador entre saída e entrada.

(3) Curva final linearizada, mostrando relação linear entre saída do linearizador e variável medida.

Fig. 11.10. Aplicação do linearizador de sinal

1.5. Multiplexação

Introdução

No sistema convencional de medição, tem se o valor de uma única variável apresentado ao observador, ou seja, o sistema tem uma única entrada e uma única saída. Porém, nas aplicações de aquisição de dados é necessário conhecer simultaneamente os valores medidos de muitas variáveis associadas com um determinado processo, máquina ou situação. Exemplos são medições de vazões, níveis, pressão, temperatura e composições de coluna de destilação, medições de temperatura em diferentes pontos de um reator, componentes de velocidade e aceleração de um avião. Na prática, é extremamente caro ter vários sistemas independentes. A solução econômica é ter um único sistema de aquisição de dados com várias entradas e várias saídas. Porém, vários elementos são compartilhados no tempo entre as diferentes entradas das variáveis medidas. Esta técnica de compartilhar sinais no tempo é chamada de **multiplexação** (ou multiplexagem).

Conceito

Multiplexador (MUX) é simplesmente um arranjo especial de chaves que permite muitos canais de entrada serem operados por um único dispositivo, geralmente um indicador, registrador ou computador do sistema de aquisição de dados (com um conversor A/D como interface). O controle deste chaveamento para selecionar determinado canal, em dado momento, pode ser feito por programa (software) ou equipamento (hardware) auxiliar.

Sob outro enfoque, multiplexador é um circuito eletrônico com dois ou mais terminais de entrada e um terminal de saída. Se um multiplexador é usado em um sistema de aquisição de dados, somente um conversor analógico para digital é necessário e se usa um modo com compartilhamento de tempo. Quando **não** se usa o multiplexador, é necessário um conversor A/D para cada entrada analógica. Como o conversor analógico para digital geralmente representa a parte mais cara do sistema de aquisição de dados, a multiplexação geralmente representa uma grande economia de custo.

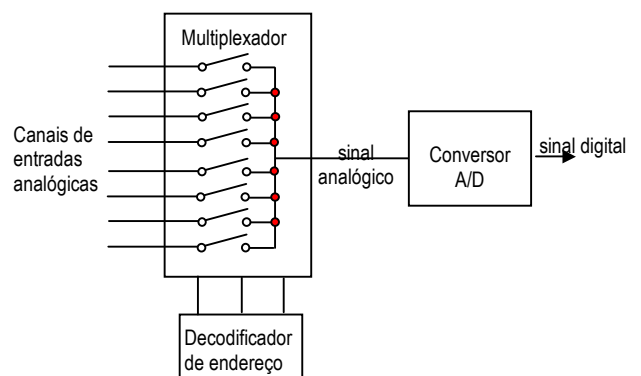



Fig. 11.11. Multiplexador analógico

Como o conversor A/D e o amplificador são compartilhados, os canais são lidos seqüencialmente, causando uma diminuição da velocidade de operação do

sistema. Em uma primeira aproximação, a velocidade especificada do amplificador e conversor A/D é dividida pelo número de canais de entrada operados. A velocidade final é definida como a velocidade de amostragem (velocidade por canal) multiplicada pelo número total de canais.

Como mostrado na Fig. 11.11, um multiplexador analógico é basicamente um conjunto de chaves paralelas ligadas a uma linha de saída comum. As chaves podem se fechar seqüencialmente ou aleatoriamente se desejado, com apenas uma chave fechada em um determinado momento e com o chaveamento sendo controlado por um decodificador de endereço. Embora as chaves possam ser eletromecânicas ou eletrônicas, atualmente elas são eletrônicas, com transistores JFETs ou CMOS FETs.

Em um multiplexador ideal, todos os canais de entrada seriam lidos ao mesmo instante no tempo. No sistema prático de multiplexagem, há uma diferença de tempo entre as leituras dos canais, mesmo que ela não seja perceptível pelo sentido humano ou mesmo que **pareça** que todos os canais sejam lidos ao mesmo tempo. Há aplicações (pesquisa de voz, teste dinâmico de material, medição de potência elétrica, análise de sinal geofísico e equipamento de teste automático) que são sensíveis a esta assimetria (skew) de tempos dedicados a cada canal do MUX e por isso foram desenvolvidas técnicas para eliminar este problema como circuitos sample e hold simultâneos.

Multiplexação por divisão de tempo

A Fig. 11.13 mostra um diagrama esquemático simples de um multiplexador com quatro canais, 0, 1, 2,3. O sinal de entrada de cada canal é uma tensão contínua correspondente a uma variável medida. O multiplexador também requer um sinal de endereço de canal paralelo de 2 bits para especificar que sinal de entrada está conectado à linha de saída. Assim, se o sinal de endereço binário é 10, a chave no canal 1 está fechada e a entrada 2 está conectada momentaneamente à linha de saída. A saída do multiplexador é assim uma série de amostras, as amostras sendo tomadas de diferentes sinais de medição em diferentes tempos. No endereçamento seqüencial, os canais são endereçados em ordem, ou seja, primeiro 0, seguido de 1, depois 2 e 3 e retornando a 0 e repetindo, de modo que este padrão de amostras para o sinal multiplexado é como mostrado no diagrama. O endereçamento aleatório, em que o operador seleciona um canal de interesse de modo aleatório, é também possível.

Se Δt é o intervalo de amostragem, ou seja, o intervalo de tempo entre amostras de uma dada entrada, então a correspondente freqüência de amostragem $f_a = 1/\Delta t$ deve satisfazer as condições de Nyquist de amostragem. Isto requer que a f_a seja maior ou igual a 2 f_{max}, onde f_{max} é a maior freqüência significativa presente no sinal de medição. Na Fig. 11.12, quatro amostras ocorrem durante Δt, de modo que o número de amostras por segundo para o sinal multiplexado é $4f_a$. Em geral, para m sinais, cada um amostrado f_a vezes por segundo, o número de amostras por segundo para o sinal multiplexado é

$$f_a^M = mf_a$$

Variáveis medidas diferentes podem ter espectros de freqüência com diferentes freqüências máximas; assim o espectro de potência de uma medição de vazão pode estender até 1 Hz, mas o da temperatura medida somente até 0,01 Hz. A freqüência de amostragem da medição de vazão deve portanto ser 100 vezes o da medição de temperatura. No sinal multiplexado haverá 100 amostras da medição de vazão entre cada amostra de temperatura. O sinal multiplexado é normalmente alimentado para um circuito de sample and hold (amostra e mantém).

1.6. Amostragem de dados

Nos sistemas de aquisição de dados são usadas técnicas de amostragem de dados para converter sinais analógicos em digitais. Isto implica que enquanto os dados podem ser registrados em uma forma regular, eles não são coletados continuamente, mas em intervalos definidos. Assim, há intervalos de tempo entre a coleta sucessiva e periódica dos dados. Em geral, não se tem conhecimento da informação faltante nem se pode prever a quantidade destes dados que não foram coletados. Sob determinadas condições, pode se assumir que os dados faltantes caem em uma linha reta entre os dados conhecidos coletados.
O teorema de Nyquist define a relação necessária entre a maior freqüência contida em uma forma de onda e a mínima velocidade de amostragem requerida. Nyquist estabelece que a taxa de amostragem deve ser maior do que duas vezes a maior freqüência do componente contido dentro do sinal de entrada. O perigo de fazer amostragem abaixo da taxa recomendada é o grande erro resultante. Quando a amostra é feita em freqüência baixa pode se ter conclusões totalmente erradas acerca da composição do sinal. Na prática, há limites para a máxima velocidade de amostragem, determinada pela característica do conversor A/D usado.

1.7. Circuito sample e hold

Em geral, a amplitude do sinal analógico varia continuamente com o tempo. Quando se quer converter um sinal analógico em digital, num determinado momento, ele deve ser parado e ficar constante. Assim, desenvolveu-se o circuito de sample e hold (amostra e mantém) para **congelar** ou mantém constante o sinal analógico durante o período de conversão para digital.
O circuito sample e hold é essencialmente um circuito de memória de tensão que armazena uma tensão de entrada em um capacitor de alta qualidade. A função de um circuito sample e hold é tomar uma amostra de curta duração de um sinal de entrada que varia rapidamente e manter esta amostra para um conversor analógico para digital. Um circuito sample e hold típico é mostrado na Fig. 11.13. O amplificador A_1 é um buffer com alta impedância de entrada para reduzir a carga do estagio anterior e baixa impedância de saída para permitir a carga muito rápida do capacitor de hold, C.

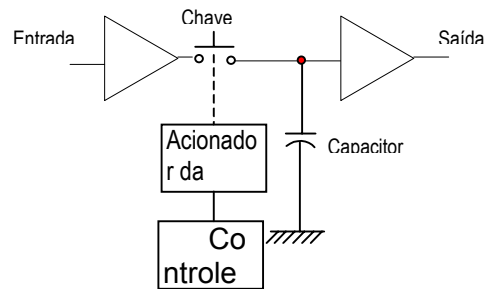



Fig. 11.13. Circuito básico sample e hold

A chave deve ser de ação rápida e de alta qualidade como uma porta de transmissão CMOS. O capacitor deve ser um dispositivo de baixa corrente de vazamento e característica de baixa absorção dielétrica. Geralmente o capacitor é de polestireno, polipropileno ou teflon®. O amplificador de saída que age como buffer para a tensão no capacitor de hold.

Os circuitos sample e hold são partes integrantes também do controlador digital e de qualquer outro sistema eletrônico que tenha amostragem de dados para sua coleta.

1.8. Conversor digital para analógico

O conversor digital para analógico tem a função de transformar um sinal digital no seu equivalente analógico.

Geralmente o conversor digital para analógico é um subcircuito do conversor analógico para digital. Os tipos principais de conversor D/A são:

1. amplificador somador de tensão
2. circuito com resistor ponderado binário

Amplificador somador de tensão

O amplificador somador de tensão mostrado na Fig. 11.15 funciona como um conversor digital para analógico. Basicamente, o circuito converte n níveis de tensão digitais em uma tensão de saída

analógica equivalente. As tensões de entrada V_1, V_2, V_3 e V_4 são iguais em amplitude mas carregam um **peso** associado com a posição dos bits em um número binário. O peso dos bits em um número binário aumenta quando se move à esquerda do ponto binário:

$2_4 \quad 2_3 \quad 2_2 \quad 2_1 \quad 2_0$

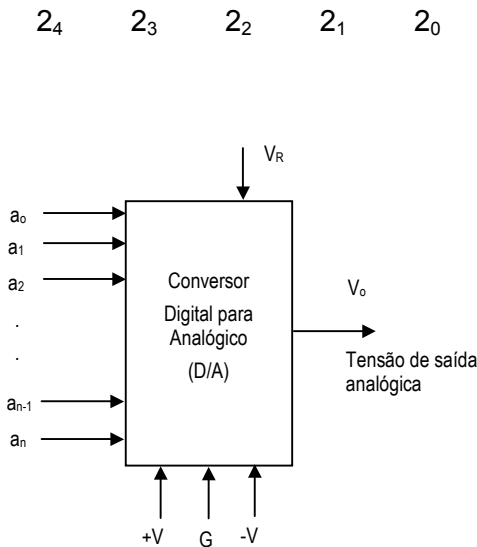



Fig. 11.14. Diagrama genérico de conversor D/A

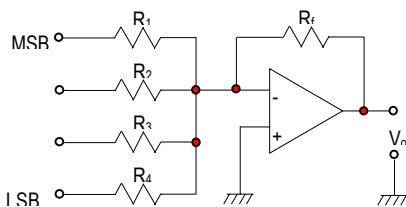



Fig. 11.15. Amplificador somador de tensão

Desde que as amplitudes das entradas digitais são a mesma, deve se computar o valor dos resistores para considerar o **peso** dos bits. Os valores dos resistores são computados como

$$R_1 = \frac{R_f}{2^0} \qquad R_2 = \frac{R_f}{2^1}$$

$$R_3 = \frac{R_f}{2^2} \qquad R_4 = \frac{R_f}{2^3}$$

A tensão de saída do amplificador somador é computada como:

$$V_o = -\left(V_1 \frac{R_f}{R_1} + V_2 \frac{R_f}{R_2} + V_3 \frac{R_f}{R_3} + V_4 \frac{R_f}{R_4} \right)$$

Substituindo pela relação das resistências, tem-se:

V_o = - (V_1 + 2 V_1 + 4 V_3 + 8 V_4)

Como entradas binárias, V_1 representa o bit menos significativo (LSB) e V_4 representa o bit mais significativo (MSB). Pode-se ver da equação anterior, que o bit mais significativo de um número binário de 4-bit contribui 8 vezes mais que o bit menos significativo, quando ambos estão na mesma tensão positiva representando uma lógica 1.

Por exemplo, a tensão de saída para o circuito da Fig. 11.16, se as seguintes tensões são aplicadas

V_1 = 1 V
V_2 = 1 V
V_3 = 0 V
V_4 = 1 V

é computada como

Vo = -[(1V)(1) + (1V)(2) + (0V)(4) + (1V)(8)]
= -(1 V + 2 V + 0 V + 8 V
-11 V

A menor variação na saída é devida à alteração do LSB de 0 para 1 ou vice-versa. Esta menor variação é chamada de **resolução** do conversor e é expressa quantitativamente como:

$$Res = \frac{V_o}{2_n - 1}$$

onde

Vo é a máxima tensão de saída
n é o número de bits binário

Por exemplo, a resolução de um conversor D/A com 8-bit de entrada e uma tensão máxima de saída de 12,8 V vale:

$$Res = \frac{V_o}{2_n - 1}$$

$$= \frac{12{,}8V}{2^8 - 1} = \frac{12{,}8V}{255} = 50 \text{ mV}$$

O conversor digital para analógico à base do amplificador somador tem duas grandes desvantagens:

1. requer vários resistores de precisão com valores diferentes.

2. cada entrada binária vê uma carga diferente, desde que cada resistor de entrada tem valor diferente.

Amplificador com escada R-2R

As desvantagens do amplificador somador podem ser eliminadas usando-se uma escada de resistores R – 2R, que usa resistores com apenas dois valores, R e 2R. Neste circuito, a resistência de qualquer nó para o terra e para um terminal de entrada é 2R.

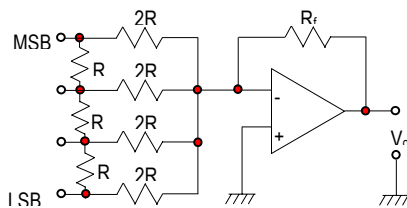



Fig. 11.16. Amplificador somador R – 2R de tensão

A relação entre as entradas binárias e a saída analógica para um circuito ladder binário R – 2R com 10-bit é mostrada na Tab. 1. Aqui V é a amplitude da tensão de entrada digital. A contribuição de cada bit listado é a mostrada, independe do número de bits de entrada. Isto é, o bit mais significativo (MSB) sempre contribui com V/2 para um circuito escada de n-bit, qualquer que seja o valor de n.

Tab. 1. Tensão de saída com Ladder binário R – 2R

Bit	Tensão saída
MSB	V/2
2º MSB	V/4
3º MSB	V/8
4º MSB	V/16
5º MSB	V/32
6º MSB	V/64
7º MSB	V/128
8º MSB	V/256
9º MSB	V/512
LSB	V/1024

Por exemplo, a tensão de saída para um circuito ladder R-2R com 6-bit, quando a entrada binária é 101010, se 0 V corresponde à lógica 0 e 5 V corresponde à lógica 1, é a soma das contribuições das tensões para as entradas com lógica 1 e é computada como:

$$V_o = \frac{V}{2} + \frac{V}{8} + \frac{V}{32}$$

$$= (5V)\left(\frac{16}{32}\right) + (5V)\left(\frac{4}{3}\right) + (5V)\left(\frac{1}{32}\right)$$

$$= \frac{5V \times 16 + 5V \times 4 + 5V \times 1}{32}$$

$$= 3{,}281 \text{ V}$$

1.9. Conversor analógico para digital

O conversor A/D transforma a informação analógica original em dados digitais correspondentes e apropriados para uso em sistemas digitais. Como os processos contínuos possuem muitos sinais analógicos (medições das variáveis pressão, temperatura, vazão, nível e análise) e como os sistemas de aquisição de dados atualmente são digitais, é mandatório o uso do conversor A/D nestes sistemas práticos.

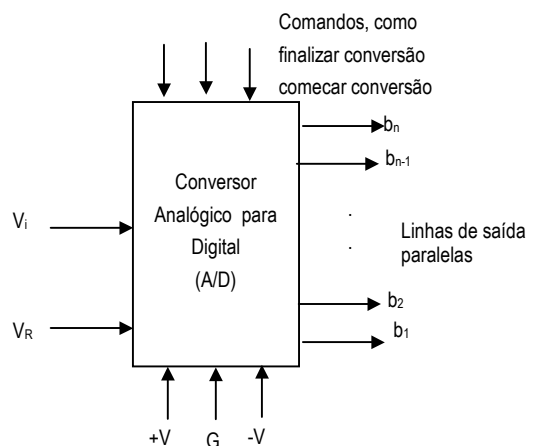



Fig. 11.17. Diagrama genérico de conversor A/D

Há vários métodos para converter sinais analógicos em digitais, diferindo na precisão, custo, taxa de conversão e susceptibilidade ao ruído.

As quatro principais técnicas usadas na conversão analógica para digital são:

1. tensão para freqüência
2. simultânea
3. rampa
4. aproximações sucessivas.

Independente da técnica usada, quase todo conversor A/D com bom desempenho inclui circuito de condicionamento de sinais, sample e hold, amplificadores operacionais, multiplexador, circuitos de temporização e sincronismo. Também todos conversores A/D operam particionando a faixa total da entrada analógica em um número fixo de degraus digitais discretos. Esta operação é conhecida como digitalização ou quantização. Um diferente código digital corresponde a cada um dos degraus (valores analógicos). Os códigos digitais consistem de n **bits**. Como cada bit é binário, ele pode ter um de dois estados possíveis: 0 ou 1.

Conversão tensão para freqüência

A conversão tensão para freqüência, como o nome implica, é uma técnica usada para converter uma tensão de entrada analógica em uma forma de onda periódica com uma freqüência que é diretamente proporcional à tensão de entrada.

A base da conversão tensão para freqüência é um oscilador com tensão controlada muito linear

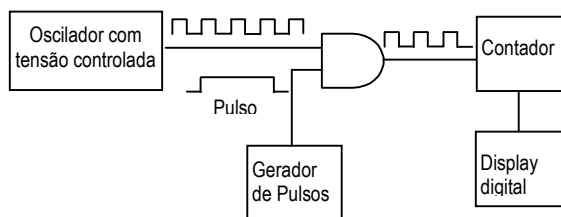



Fig. 11.18. Diagrama de um conversor tensão para freqüência

O oscilador com tensão controlada deve ser projetado de modo que a relação entre a freqüência de saída e a tensão de entrada seja constante. Isto pode ser expresso como:

$$k = \frac{f}{V_i}$$

ou

$$V_i = \frac{f}{k}$$

A sinal de saída do oscilador (pulso com freqüência f) é aplicado a um terminal de entrada de uma porta AND de duas entradas. O sinal aplicado a outra entrada da porta AND é um pulso, criado por um gerador. Durante o tempo em que os dois sinais estiverem presentes nas entradas da porta AND, a saída da porta AND é idêntica à saída do oscilador.

Por exemplo, seja um oscilador com constante k = 100. Se 260 pulsos passam através da porta AND e no contador durante pulso de 0,1 s, a amplitude da tensão de entrada é de 26 V.

Método simultâneo de conversão A/D

O método simultâneo ou paralelo de conversão analógico para digital é o mais rápido disponível. Porém, ele requer o uso de vários circuitos comparadores. Como regra geral, o numero de comparadores é $2^n - 1$, onde n é o número de bits na saída digital. Por exemplo, dois bits digitais permitem definir quatro faixas de uma tensão de entrada analógica, porque quatro combinações de 1 e 0 são possíveis com dois bits digitais. De acordo com a expressão $2^n - 1$, são necessários três comparadores para conseguir a conversão.

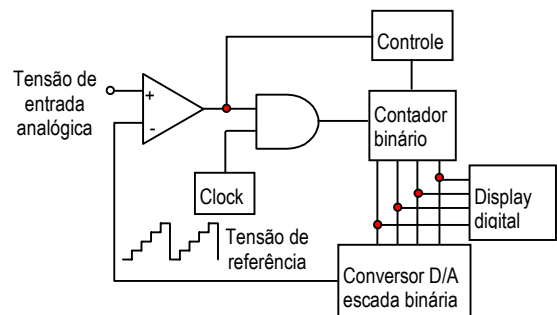



Fig. 11.19. Conversor A/D tipo rampa

Tab. 2. Entrada analógica versus saída digital para conversor A/D simultâneo com 2-bit

Entrada analógica	Saída digital
0 a V/4	00
V/4 a V/2	01
v/2 a 3V/4	10
3V/4 a V	11

Conversor A/D tipo rampa

Pode se eliminar a necessidade dos numerosos comparadores no conversor usando uma rampa. O conversor A/D tipo rampa é levemente mais sofisticado e exato (maior resolução) que o conversor simultâneo e requer somente um comparador, pois ele produz uma tensão de referência tipo escada, com a qual a tensão analógica de entrada é comparada.

Pode se analisar a operação do circuito considerando o contador zerado e a saída do conversor D/A igual a zero. Se a tensão de entrada analógica começa a aumentar, a saída do comparador ficará alta quando a tensão analógica de entrada exceder a tensão de referência. O estado alto da saída do comparador habilita a porta AND. Assim, o contador começa a armazenar pulsos do clock. Quando o contador avança através de seus estados binários, ele produz a tensão de referência em forma de escada na saída do conversor D/A. Quando a tensão de referência escada excede a amplitude da tensão analógica, a saída do comparador é chaveada em baixo, assim desabilitando a porta AND que corta os pulsos do clock para o contador. O número binário armazenado no contador é mostrado na saída. O display de saída representa a amplitude da tensão analógica.

O contador começa em zero e conta até o ponto em que a tensão analógica fica igual à tensão de referência escada, de modo que o tempo de conversão está diretamente relacionado com a amplitude da tensão analógica.

Conversor com aproximação sucessiva

A técnica de aproximação sucessiva é uma das mais usadas, principalmente por causa de seu pequeno e constante tempo de conversão. Um diagrama de blocos básico para um conversor A/D por aproximação sucessiva a 4-bit é mostrado na Fig. 11.20. O conversor A/D consiste de um comparador de tensão, um conversor D/A, um registro de aproximação sucessiva e um clock.

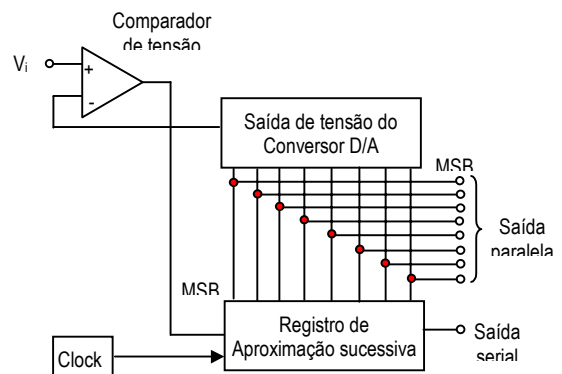



Fig. 11.20. Diagrama de um conversor A/D básico com 4-bit e aproximação sucessiva

Indo através do ciclo de conversão, o sistema começa habilitando os bits do conversor D/A um bit por vez, começando com o bit mais significativo (MSB). Quando cada bit é habilitado, sua amplitude é comparada com a tensão analógica de entrada, V_i, pelo comparador de tensões. O comparador então produz uma saída que indica se a tensão analógica tem amplitude maior ou menor que a saída do conversor D/A. Se a saída do conversor D/A é maior que a tensão analógica, o MSB é resetado a zero, desde que ele não é necessário na representação da entrada analógica. Se a saída do conversor D/A é menor que a tensão analógica, o MSB é retido no registro.

O sistema faz esta comparação sucessivamente com cada bit, começando com o MSB, indo para o próximo MSB, até chegar ao LSB. Quando cada bit do conversor D/A é comparado, aqueles que contribuem com a representação digital da entrada analógica são armazenados no registros e os que não são necessários, são resetados em zero.

2. Telemetria

2.1. Introdução

As indústrias de óleo, água, gás são caracterizadas por sistemas complexos de distribuição envolvendo a transferência de fluidos ao longo de tubulações que interligam áreas de produção, armazenagem e consumo. Estes sistemas também incluem vários itens de equipamento ou planta, como estações de bombeamento, compressores, tanques de armazenagem, cada um com variáveis medidas associadas. Estes dispositivos geralmente estão distantes vários kilômetros entre si, em áreas remotas. É essencial para a supervisão eficiente e efetiva destes sistemas de distribuição que todos os dados de medição sejam transmitidos para uma sala de controle central. Para se fazer isso, é necessário um sistema de **telemetria**. O sistema usualmente consiste de várias estações satélites interligadas a uma estação central principal. O sistema de telemetria deve ser capaz de transmitir grandes quantidades de informação nos dois sentidos: da estação satélite para a estação central e da central para os vários satélites. A transmissão é feita através de grandes distancias, na presença de interferência externa e ruídos.

2.1. Conceito

Telemetria é a transmissão da informação de medição para locais remotos por meio de fios, ondas de rádio, linhas telefônicas ou outros meios. Telemetria é o sistema completo de medição, transmissão e recepção para indicar ou registrar uma quantidade à distância. Telemetria é também chamada de **medição remota**.
Dentro da instrumentação há geralmente a necessidade da telemetria, para transmitir dados ou informação entre dois locais separados geograficamente. A transmissão pode ser requerida para possibilitar a aquisição de dados supervisória centralizada, processamento de sinal ou controle a ser exercido em sistemas espalhados e separados por grandes distancias. As principais aplicações de telemetria incluem: complexos petroquímicos, casa de força e distribuição de energia, distribuição de água ou de gás em cidades, adutora de água, armazenamento e distribuição de óleo e gás natural nas áreas de produção Embora não seja de interesse deste trabalho, a telemetria se aplica também a sistemas remotos ou inacessíveis, tais como satélite, exploração espacial e marítima.

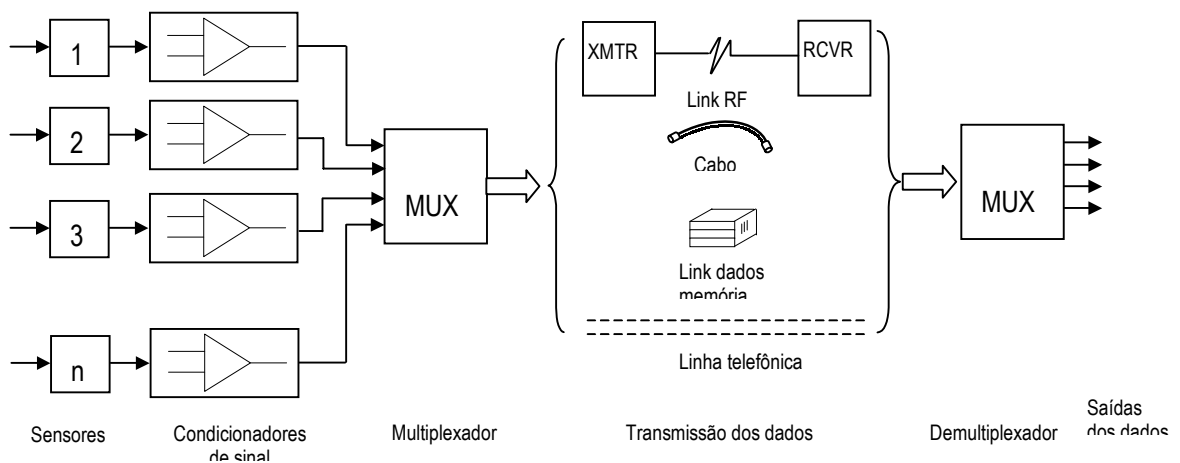
Há quem considere telemetria a transmissão convencional, pneumática ou eletrônica da instrumentação. Nestas aplicações, os valores das variáveis de processo (pressão, temperatura, vazão, nível e análise) são convertidos nos sinais padrão, pneumático de 20 a 100 kPa (3 a 15 psi) ou eletrônico de 4 a 20 mA cc.

A transmissão pneumática pode ser feita até distâncias de 300 metros, em tubos plásticos ou metálicos de diâmetro externo de 6,35 ou 9,5 mm. A distância é limitada pela velocidade da resposta, que quadruplica quando se dobra a distância. A transmissão eletrônica pode ser feita até distancias de 3 km, em fios trançados comuns de 14 AWG. Não há limitação técnica da distância, pois o sinal de corrente não é atenuado ao longo da linha, porém há uma limitação prática da fiação física.

O avanço da telemetria ocorre na instrumentação usando técnicas de rádio freqüência, microondas ou fibras ópticas. Os canais de comunicação usados incluem linhas de transmissão empregando dois ou mais condutores que podem ser fios trançados, cabos coaxiais ou linha telefônica ligando fisicamente os dois pontos (transmissão e recepção). Os links de microondas permitem a comunicação de dados por modulação de uma rádio freqüência ou portadora de microondas e os dois pontos não são ligados fisicamente mas a informação é transportada no ar. Nos links ópticos, a informação é transmitida como uma modulação da luz através de um cabo de fibra óptica.

2.2. Telemetria e aquisição de dados

Um sistema de aquisição de dados pode incorporar um subsistema de telemetria, para a comunicação remota entre estações. Este sistema completo inclui.

1. Na entrada do sistema estão as variáveis do processo que são medidas pelos sensores.
2. Os sinais são condicionados na forma de amplificação, filtro, padronização, linearização ou qualquer outra função para normalizar as saídas dos diferentes sensores e restringir suas larguras de faixa de modo que sejam compatíveis com os canais de comunicação. Os sistemas de transmissão até o multiplexador podem empregar tensão, corrente, posição, pulso ou freqüência para levar os dados digitais ou analógicos.
3. Os sinais são agora multiplexados, ou no tempo ou na freqüência, de modo que todos sejam transmitidos no mesmo canal, um por vez, de modo ordenado e correto.
4. Os sinais multiplexados são transmitidos do transmissor para o receptor remoto, através de uma onda portadora de rádio freqüência (RF), modulada por amplitude, freqüência ou fase. A transmissão pode alternativamente ser feita por cabo coaxial, cabo de fibra óptica ou por linha telefônica.
5. Assim que os dados chegam no receptor, um a um, eles são demultiplexados, ou sejam, todos os sinais passam a existir simultaneamente e podem ser mostrados ou analisados na estação final.

ig. 9.21. Sistema de telemetria

2.3. Canais de Comunicação

Linhas de transmissão

As linhas de transmissão são usadas para guiar ondas eletromagnéticas e em instrumentação elas comumente tomam a forma de par de fios trançados, cabo coaxial ou linha de telefone. Nas linhas de transmissão é importante saber e especificar os parâmetros primários de

1. resistência,
2. condutância de vazamento,
3. indutância e capacitância distribuídas.

As linhas de transmissão são caracterizadas por três parâmetros secundários:

1. impedância, Z_o
2. atenuação, α, por unidade de comprimento da linha, expressa em dB/m.
3. deslocamento de fase, β, que é medido em rd/m.

Par trançado

O par trançado são dois fios de cobre ou alumínio revestidos de plástico isolante. O trançamento reduz o efeito da interferência acoplada indutivamente. Valores típicos dos parâmetros primários para par trançado de fio AWG 22 são:

R	100 Ω /km
L	1 mH/km
G	10-5 S/km
C	0,05 μF/km

Em altas freqüências, a impedância característica da linha é aproximadamente 140 Ω. Valores típicos de atenuação do par trançado:

3,4 db/km	100 kHz
14 db/km	1MHz
39 db/km	10 MHz

A limitação de alta freqüência para o uso do par trançado é de 1 MHz, não por causa da atenuação mas por causa da interferência (*crosstalk*) causada pelo acoplamento capacitivo entre os pares trançados no cabo.

Cabo coaxial

O cabo coaxial consiste de um núcleo central condutor rodeado por um material dielétrico que pode ser politeno ou ar. O condutor externo é usualmente coberto de um revestimento isolante. A perda em altas freqüências no cabo coaxial é devida ao efeito pele (*skin effect*), que força a corrente no núcleo central fluir próxima de sua superfície e assim aumenta a resistência do condutor. Tais cabos tem uma impedância característica entre 50 e 75 Ω. A atenuação típica de um cabo coaxial com diâmetro de 0,6 cm é

8 dB/100 m	100 MHz
25 dB/100 m	1 GHz.

Cabo telefônico

Cabos telefônicos consistem de vários pares de condutores trançados. Os condutores são isolados com papel ou polietileno, o trançamento sendo usado para reduzir a interferência entre pares condutores adjacentes. O conjunto dos pares trançados é blindado com plástico e o cabo inteiro é revestido de fio ou fita de aço para ter alta resistência mecânica. Finalmente, há um revestimento de plástico externo. Em freqüências de áudio, a impedância do cabo é dominada por sua capacitância e resistência. Isto resulta em uma atenuação que depende da freqüência e também da distorção de atraso de fase, desde que sinais de diferentes freqüências não são transmitidos no cabo com a mesma velocidade. Assim, um pulso propagado através do cabo resulta em um sinal que não é apenas atenuado (importante em comunicação de voz e analógica) mas que é também distorcido em fase (importante em transmissão de sinal digital). O grau de distorção de atraso de fase é medido pelo atraso do grupo $d\beta/d\omega$. A largura da banda dos cabos telefônicos é restrita em baixas freqüências pelo uso de amplificação ca em estações repetidoras usadas para reforçar o sinal ao longo da linha. Para melhorar a resposta da amplitude em alta freqüência, colocam-se indutâncias discretas para corrigir a característica de atenuação da linha, que aumentam a distorção do atraso de fase e a atenuação em alta freqüência. A banda de freqüência

usável da linha telefônica é entre 300 Hz e 3 kHz.

Para transmitir a informação digital de modo confiável, o equipamento de transmissão deve ter uma perda da transmissão menor que 30 dB, uma largura de banda limitada causada por uma perda de transmissão que varia com a freqüência, variações de atraso de grupo com a freqüência, ecos causados pelo descasamento das impedâncias e interferência híbrida e ruído causado pelo chaveamento e picos de tensão. Assim, pode se perceber que a natureza da linha telefônica causa problemas particulares na transmissão de dados digitais. Equipamentos como modems são usados para transmitir dados digitais ao longo das linhas telefônicas.

2.4. Modem

Modem é um circuito eletrônico que possui duas funções em um único invólucro:

1. recebe vários sinais na entrada e faz um tratamento individual para cada sinal
2. depois de tratados, envia todos estes sinais de volta, um a um.

A primeira função do modem é modular o sinal e a segunda, demodular o sinal e por isso o nome **MOD**ulador + **DEM**odulador = **MODEM**.

Modem Bell 103

Os primeiros dispositivos de eletrônica, o telégrafo e o teletipo, comunicavam-se entre si trocando sinais de pulsos de corrente contínua, através de fios compridos. Os computadores e terminais modernos ainda utilizam uma versão aperfeiçoada desta técnica, como a definida pela norma RS 232 C. Os telefones, por outro lado, comunicam-se passando um sinal analógico de áudio através da linha. A intensidade e freqüência do sinal dependem do volume do tom da mensagem transmitida. A diferença básica entre a rede telefônica é que ela transporta informação de voz (áudio ou alternada) e a rede de computadores pode utilizar sinais de corrente contínua. A partir da necessidade de conectar computadores nas linhas telefônicas já existentes, levou a AT&T desenvolver o modem Bell 103. O modem converte os pulsos digitais de liga e desliga, que representam os dados, em tons analógicos de liga e desliga para serem transmitidos através de uma linha telefônica normal.

O modem Bell 103 funciona a uma velocidade baixa, de 300 bits por segundo ou 300 bauds. Os modems modernos já utilizam velocidades de transmissão de 57,6 kbauds, 192 vezes mais rápido que o modem Bell 103, pois seus circuitos são microprocessados.

Independente da velocidade e potência computacional, todos os modems possuem certas características comuns como:

1. conter uma interface RS 232C, pois geralmente são ligados a um computador ou terminal,
2. conter uma interface RJ-11 para ser ligado à linha telefônica
3. utilizar dois pares de tons, uma para o estado ligado e outro para o estado desligado da linha de dados RS-232C. Um dos pares é usado pelo modem que origina a chamada e o outro pelo modem que responde à chamada. Geralmente o modem de origem envia dados entre 1070 e 1270 Hz e o modem que recebe usa dados entre 2025 e 2225 Hz.

Dentro de um modem

Um modem típico de 9600 bauds tem quatro áreas principais:

1. fonte de alimentação
2. interface com sistema telefônico
3. CPU
4. circuitos.

Fonte de alimentação

A fonte de alimentação está instalada na própria placa do modem, quando ele é independente do micromputador. Quando ele é montado na placa do computador, ele usa a fonte do computador. De qualquer modo, a fonte é regulada.

A interface RS 232C conecta o modem a um terminal ou computador principal. Dirigidos por comandos recebidos através da porta RS 232C, os modems inteligentes podem armazenar e discar números telefônicos automaticamente.

O lado analógico do modem começa com a interface com a linha telefônica. Um

circuito de sobrecarga protege o modem contra raios e outros danos elétricos. Um circuito adicional garante que o sinal de saída esteja de conformidade com normas da FCC.

Atualmente o chip do modem realiza as tarefas de conversão D/A. Antes dos circuitos integrados, estes circuitos eram complexos e envolviam componentes discretos.

A CPU é a parte principal do modem. A CPU controla todos os outros componentes do modem, realiza a compressão dos dados e detecção de erros especificados pelos protocolos do CCITT. O programa da CPU é carregado em dois chips de ROM e utiliza dois chips de 64 kB de RAM para o armazenamento temporário.

Modem inteligente

O modem faz a ligação do universo analógico das redes telefônicas com o mundo digital dos computadores. Os primeiros modems desenvolvidos o foram pela Bell Labs, o modem Bell 103, de 300 bauds.

Depois do Bell 103, o próximo foi o da AT&T, Bell 212A, a 1200 bauds. Embora fosse mais rápido, era mais susceptível a ruídos e corrupções do sinal do circuito telefônico.

A Hayes Microcomputers Products tomou a dianteira no comercio de modems para computadores. Ela utilizou pela primeira vez o microprocessador dentro do modem. O Hayes Smartmodem, em 1981, usava o microprocessador Zilog Z-8 para controlar os circuitos do modem e gerenciar a discagem e resposta automática. Às vezes, o modem possuía um microprocessador mais poderoso que o do computador onde ele era instalado.

Em 1985, apareceu o modem de 2 400 bit/s. Este novo padrão foi chamado de V.22bis, estabelecido pela CCITT. Seguiram o V.32 de
9 600 bits/s, o V.32bis de 14 400 bits/s, V.42 (controle de erros) e V.42bis (compressão de dados).

Para superar as limitações das linhas de telefone públicas, os dados digitais são transmitidos nestas linhas por meio de um modem. Os dois métodos de modulados usados por modems são:

1. chaveando deslocamento de freqüência (FSK – frequency shift keying)
2. chaveando deslocamento de fase (PSK – phase shift keying).

Técnicas de modulação de amplitude não são usadas por causa da resposta não conveniente da linha para alterações tipo degrau na amplitude. Modems podem ser usados para transmitir informação em duas direções ao longo de uma linha telefônica. Operação full duplex é transmissão da informação nos dois sentidos simultaneamente; half duplex é a transmissão da informação nos dois sentidos, mas somente em um sentido de cada vez; simplex é a transmissão dos dados em somente um sentido.

O princípio de FSK usa duas freqüências diferentes para representar o 1 e o 0 e pode ser usada em transmissão de dados com taxa de até 1200 bauds (bits por segundo). O receptor usa um discriminador de freqüência cujo limite é estabelecido na metade das duas freqüências. O deslocamento de freqüência recomendado não deve ser menor que 0,66 da freqüência de modulação. Assim, a operação do modem a 1200 bauds tem uma freqüência central recomendada de 1700 Hz e um desvio de freqüência de 800 Hz, com o 0 representado por 1300 Hz e 1 por 2100 Hz. Em uma taxa de transmissão de 200 bauds é possível operar um sistema full duplex. Em 600 e 1200 bauds a operação half duplex é usada incorporando um canal de baixa velocidade para controle supervisório ou baixa velocidade para retorno dos dados.

2.5. Transmissão por rádio freqüência

A transmissão por rádio freqüência (RF) é muito usada em telemetria civil e militar. A transmissão de RF começa em 3 Hz (chamada de VLF – muito baixa freqüência) até 300 GHz (chamada de EHF – extremamente alta freqüência), havendo bandas intermediárias de baixa freqüência (LF), média freqüência (MF), alta freqüência (HF), muito alta freqüência (VHF), ultra-alta freqüência (UHF) e super alta freqüência (SHF).

A transmissão do sinal é por meio de propagação de linha de visão, difração de onda na superfície ou na terra, reflexão ionosférica ou espalhamento para frente. A transmissão de telemetria ou sinais de dados é usualmente feita por modulação de amplitude (AM), freqüência (FM) ou fase (PM) de alguma onde de RF portadora.

A alocação de bandas de freqüência é feita por acordo internacional da União Internacional de Telecomunicação, com sede em Genebra.

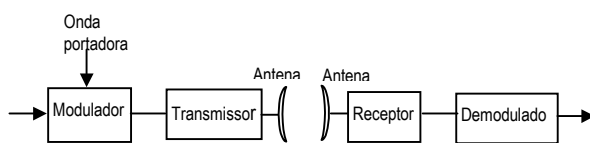



Fig. 11.22. Sistema de telemetria com RF

3. Controle Supervisório do Sistema de Aquisição de Dados

3.1. Introdução

Um sistema de aquisição de dados coleta e armazena para uso futuro. Os dados analógicos (corrente de 4 a 20 mA cc, tensão de mV de células de carga, tensão de termopares dos tipos J, K, R, S, T e B, resistências detectoras de temperatura, pulsos de turbinas medidoras de vazão, freqüência de sinais de transmissores de vazão magnéticos, freqüências de medidores tipo vortex ou coriolis) são **convertidos** para a forma digital conveniente para ser usada dentro do sistema digital de aquisição de dados. São transferidos também os chamados sinais digitais, como protocolo HART®, contatos secos de chaves e relés, pulsos binários. Atualmente, na maioria das aplicações industriais, a aquisição de dados é feita por controladores lógico programáveis (CLP), que possuem as interfaces de entrada e saída já padronizadas e com preço mais conveniente que as interfaces E/S do sistema digital de controle distribuído. Outro vantagem de se usar um CLP como sistema de coleta de dados é a facilidade de driver de comunicação entre ele e o microcomputador onde será rodado o programa aplicativo para realizar o controle supervisório do processo.

Quando os dados são coletados a grandes distâncias, eles são **transferidos** através de fios físicos, por uma onda de rádio freqüência portadora ou através de linha telefônica ou por uma combinação qualquer destas três técnicas.

Estes dados estão agora disponíveis em um único local centralizado, e podem ser indicados, registrados, totalizados, analisados e alarmados.

É também desejável que o operador, além de coletar os dados e saber os status dos dispositivos remotos, possa atuar no processo, abrindo e fechando válvulas motorizadas, ligando e desligando motores de bombas e compressores, enviando sinais analógicos para atuar em válvulas de controle. Nestas aplicações, os sinais digitais do sistema de aquisição de dados

devem ser convertidos de volta para a forma analógica e aplicados a algum tipo de atuador no processo.

Neste ponto, deve-se projetar e construir equipamentos digitais que executem todas estas tarefas. Este equipamento já existe, associado a programas de computador aplicativos: é o Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA).

3.2. Equipamento (Hardware)

A plataforma de operação do sistema de aquisição de dados e controle supervisório é um microcomputador, rodando um programa aplicativo. Através de configuração de telas, o operador pode selecionar através do teclado ou mouse do computador diferentes visões do processo, desde uma malha isolada até o processo completo (*overview*).
O monitor do computador irá substituir os painéis convencionais com botoeiras, instrumentos de display, anunciador de alarme e painel sinóptico. As chaves liga e desliga e as botoeiras de partida e parada são substituídas por teclas ou são atuadas através da tela especial (*touch screen*). Têm-se agora chaves lógicas ou virtuais que funcionam exatamente como se fossem reais.

O monitor do computador substitui os instrumentos de display. Através do programa de configuração, o operador pode selecionar telas que apresentam os valores numéricos das variáveis de processo de diferentes modos, à sua escolha. Os valores podem aparecer ao lado dos equipamentos associados. Por exemplo, o nível do tanque pode ser apresentado em percentagem ao lado do desenho do tanque, a vazão que passa por uma tubulação pode ter o valor instantâneo mostrado junto da tubulação, a temperatura de um reator pode ser mostrada em diferentes posições, em valores digitais. Através da configuração de tela, os instrumentos virtuais podem se parecer com instrumentos convencionais, com escala *analógica* (gráfico de barras simula a escala analógica), com botões, chaves seletoras e chaves de atuação.

A totalização da vazão ou de outra variável (por exemplo, tempo acumulado de operação de motor de bomba) pode ser apresentada na tela do monitor, em tamanho e cor definidos pelo usuário.

O anunciador de alarme é eliminado e agora os alarmes são listados pelo computador, mostrados na tela do monitor ou impressos em papel, se necessário. O alarme sonoro continua existindo. O usuário pode definir um código de cores para diferentes tipos de alarme. No diagrama do processo mostrado na tela do monitor do computador, as variáveis alarmadas podem assumir diferentes cores.

Também no sistema, os status dos equipamentos podem ser definidos e observados na tela do monitor. Assim, por exemplo, válvulas fechadas podem ser representadas em vermelho, fechadas em amarelo e em posições intermediárias, em verde.

Tudo que era feito através da instrumentação convencional contínua sendo feito, porém, o operador vê o processo através de uma janela. Sua interface para ver o que está ocorrendo é a tela do monitor e sua interface para atuar no processo é o teclado do computador, mouse, trackball (mouse com esfera) ou a própria tela do monitor se ela for sensível ao toque (touch screen).

Este sistema supervisório facilita muito a vida do operador. Relatórios que anteriormente eram escritos à mão agora são automaticamente impressos. A partir do aperto de uma tecla, o operador pode ter uma lista de todos os pontos que foram alarmados nas últimas 24 horas de operação.

Concluindo: um conjunto integrado de sistema de aquisição de dados, programa de controle supervisório e um microcomputador, pode ser uma alternativa econômica para um Sistema Digital de Controle Distribuído. Por causa de suas limitações de desempenho e conveniência geral apresentadas por um sistema com microcomputador, estas aplicações são idéias para processos onde o custo é crítico e o controle é simples. Este conceito certamente cria a expectativa e a visão do futuro para aplicações abertas. Mesmo com suas limitações, o sistema pode ter ou fazer:

1. gerenciamento de banco de dados relacional,
2. pacote de planilha de cálculo
3. capacidade de controle estatístico de processo
4. processador de texto
5. gerenciamento de display orientado para objeto
6. estação de trabalho orientada para janela
7. troca de informações com outros sistemas da planta
8. comunicação com outros sistemas digitais, como controlador lógico programável, controlador digital single loop, sistema de monitoração de máquinas rotativas, sistema de análise da planta
9. interoperabilidade entre outras plataformas digitais disparatadas.

3.3. Programa Aplicativo (Software)

A operação de selecionar uma malha, iniciar uma entrada de dados, atuar em determinado dispositivo remoto, apresentar uma lista de alarmes não é feita milagrosamente, mas deve ser prevista e programada. Para facilitar as coisas, são disponíveis vários programas aplicativos no mercado, para que usuário realize seu controle, sendo os mais conhecidos:

Intouch, da Wonderware

FicsDmacs, da Intellution

4. Intouch®

4.1. Funções

O programa supervisório *InTouch* é um programa que permite a configuração de um Sistema de Supervisão de Processo, incorporando recursos de operação configuráveis pelo usuário, como: telas, sinópticos, gráficos e registros de alarmes, entre outras.

O programa roda em microcomputador do tipo IBM-PC, com microprocessador 80386 ou superior, com 4 MB de RAM, no sistema operacional MS-DOS, no ambiente MS Windows e Windows NT e dentro do programa de supervisão InTouch usado para a operação do Sistema.

As suas principais funções são:

1. alarmes de falhas de segurança
2. autorização de acesso
3. aquisição de dados
4. operação solicitada pelo operador
5. suporte

Alarmes de Falhas de Segurança

O monitor de vídeo do sistema do microcomputador constitui a interface homem-máquina, apresentando de forma clara e simples aos engenheiros e operadores do processo, os alarmes de falhas de segurança referentes a mudanças de estado do Processo e a falhas do sistema de aquisição de dados e dos periféricos.

A impressora fornece relatórios de alarmes e de eventos operacionais.

Autorização de Acesso

O sistema permite o acesso aos dados e comandos apenas a operadores autorizados. A identificação dos operadores autorizados é feita através de senha ou palavra-chave (*password*).

Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados recebe os status das variáveis supervisionadas, em linha (*on line*) do sistema de aquisição de dados. Os eventos são registrados em um banco de dados armazenado na memória de massa e posteriormente, estes dados podem ser usados em outros aplicativos, como o MS-Excell.

O programa também permite a visualização de gráficos de:

1 tendência real

2.tendência histórica.

Operações Solicitadas pelo Operador

As operações solicitadas pelo operador permitem :

1. atuar em equipamentos específicos; como bombas, solenóides e válvulas manuais.
2. alinhar transferência de materiais;
3. executar programas de diagnóstico do equipamento.

Funções de Suporte

As funções de suporte são transparentes ao operador e incluem as tarefas de

1. comunicação entre o microcomputador e o sistema de aquisição de dados,
2. gerenciamento dos bancos de dados do microcomputador.

A comunicação de dados entre o Sistema Supervisório e o sistema de aquisição de dados por ser feita através da rede R-Net. A rede R-Net é do tipo barramento com mecanismo de acesso por passagem de bastão (token-bus) e se enquadra no modelo ISO de interconexão de sistemas abertos.

O meio de transmissão utilizado é um cabo coaxial de 75 ohms, semelhante aos usados em sistemas de rede local. A transmissão de dados é feita em banda base, a uma taxa de 800 kbauds. A autorização para a transmissão é passada de uma estação para outra, através de uma seqüência de pulsos característicos, denominados bastão (token). Após transmitir a mensagem, a estação passa o bastão para a estação seguinte, e assim sucessivamente, formando um anel lógico.

Por ser um sistema de controle distribuído, o Sistema Supervisório é naturalmente modular e expansível, permitindo ao usuário ampla flexibilidade na configuração de suas necessidades atuais e em futuras expansões das seguintes formas:

1. expansão da própria rede local, através da adição de novas estações de supervisão ou microcomputadores, até o máximo de nós permitido pela Rede RNET (255),
2. ligação opcional dos microcomputadores a uma segunda rede local.

4.2. Características do InTouch

O InTouch possui as seguintes características:

Explorador de Aplicação

O Explorador de Aplicação hierárquico fornece as melhores capacidades de navegação, tais como:

1. mostra os nomes de todas as janelas criadas
2. quando se dá um duplo click sobre o nome de uma janela, ela se abre
3. quando se clica à direita de um nome de janela, aparece um menu mostrando os vários comandos que podem ser executados para
   a) abrir a janela
   b) salvar a janela
   c) abrir o QuicScript da janela
   d) apresentar as propriedades da caixa de diálogo
4. permite o acesso rápido a
   a) todos os tipos de QuickScript
   b) todos os comandos da configuração,
   c) Dicionário de Tagname
   d) utilidade de Referência Cruzada de Tagname
   e) TemplatMaker de SuperTags
5. permite adicionar atalhos para lançar outros programas do FactorySuite ou outras aplicações
6. opcionalmente ele apresenta um display.

Ambiente de Trabalho

As aplicações rodam no Sistema Operacional Windows NT ou Windows 95 e são intercambiáveis entre si. Elas rodam em qualquer sistema operacional, sem requerer conversão.

Container ActiveX

InTouch é um container ActiveX. Ele permite a instalação de qualquer outro controle ActiveX e usa o em qualquer janela de aplicação. Para facilitar o acesso, pode-se instalar controles ActiveX e depois adicioná-los à **Wizards/ActiveX Toolbar**. Através dos controles ActiveX, pode-se manipular eventos de controle, métodos de controle e propriedades de controle dos QuickScripts. Pode-se também associar as propriedades de controle ActiveX diretamente com os tagnames do InTouch.

Suporte estendido a Tagname

O Dicionário de Tagname do InTouch suporta até 61.405 tags, em função da licença do usuário.

Browser de Tag

O Browser Tag permite selecionar tagnames e tagname.fields de qualquer aplicação FactorySuite ou qualquer outra fonte de tagname que suporta a interface do Dicionário de Tagname. O browser é a principal ferramenta para editar o Dicionário de Tagname.

Monitoração de Falha do Instrumento

Começando com a versão 7.0, InTouch suporta três tagname**.fields (. RawValue, .MinRaw, .MaxRaw** que podem ser usados no QuickScript para monitorar os valores dos instrumentos para determinar valores fora de faixa, fora de calibração ou falha.

Referência Remota de Tagname

A Referência Remota de Tagname permite o acesso a dados de uma fonte remota de dados sem ter que criar o tagname no Dicionário de Tagname local. Remotos tagnames podem referenciar dados definido na maioria das fontes de dados I/O usando MS DDE ou protocolo Wonderware SuiteLink. Por exemplo, a fonte de dados I/O pode ser MS-Excel ou um nó View remoto. Pode-se importar janelas gráficas de qualquer aplicação InTouch e depois converter os tagnames do local de trabalho da janela para referências remotas de tagname para criar uma aplicação do cliente que não esteja no Dicionário de Tagname local.

SuperTags TemplateMaker

O SuperTags TemplateMaker permite criar, modificar e deletar templates SuperTags do usuário. As templates SuperTag podem ser definida com até 64 membros. Uma template SuperTag pode ser um membro de outra template SuperTag para um máximo de dois níveis de rede. Os membros se comportam exatamente como tagnames InTouch normais e podem ser usados em QuickScripts e links de animação. Os membros também suportam tendência e alarme e todos os tagname**.fields**.

QuickFunções

QuickFunções são QuickScript criados que podem ser chamados de outros QuickScripts ou expressões de link de animação. QuickFunções suportam parâmetros e valores de retorno. Chamando QuickFunções de outros QuickScripts ou expressões permite a criação de QuickFunções uma vez e depois reusá-la várias vezes. Usando QuickFunções diminui a manutenção da aplicação, porque independente do número de outros scritps ou expressões de link de animação chamam a QuickFunções, somente a QuickFunções em si precisa ser mantida. Fazendo modificações em uma QuickFunções, automaticamente se faz a atualização de dúzias de outros QuickScript ou expressões.

QuickFunções Assíncronas

As QuickFunções podem ser configuradas como assíncronas. A funcionalidade assíncrona é configurada no ambiente de desenvolvimento WindowMaker e executado no ambiente de operação WindowViewer. QuickFunções assíncronas rodam no segundo plano enquanto o processo principal WindowViewer está rodando. Isto permite ao WindowViewer separar o tempo consumido nas operações, tais como chamada de base de dados SQL e malhas FOR NEXT do fluxo principal do programa. Quando tal tempo consumindo operações é feito através de QuickFunções assíncronas, todos os links de animação e outras funções do InTouch permanecem simultaneamente ativos.

Referência Cruzada de Tagname

A Referência Cruzada de Tagname permite determinar o uso do tagname ou SuperTag e, em que janela ou Quickscrit que um tagname específico é usado. Por conveniência, a utilidade de Referência Cruzada de Tagname pode permanecer aberta no WindowMaker enquanto se executam outras tarefas. Ele permite também ver qualquer QuickScript ou QuickFunções onde um tagname é encontrado.

Variáveis Locais

Os QuickScript e QuickFunções do InTouch suportam o uso de variáveis locais para armazenar resultados temporários e criar cálculos complexos com valores de script intermediários. Usando variáveis locais no QuickScript e QuickFunções, não diminui a quantidade de tagname licenciado.

WindowViewer como um Serviço NT

Começando com InTouch 7.0, o WindowViewer pode ser rodado como um serviço NT, oferecendo as vantagens de:

1. lista de histórico
2. alarmes
3. dados I/O
4. operação contínua de WindowViewer através do log on e log off do sistema operacional, como credenciamento de operador
5. partida automática do WindowViewer segundo falta de energia ou quando a máquina é desligada e ligada.

Sistema de Alarme Distribuído

O novo sistema distribuído suporta servidores ou provedores múltiplos de alarme, dando ao operador a habilidade de simultaneamente ver e tomar conhecimento da informação de alarme de vários locais remotos.

Historia Distribuída

O sistema de tendência histórica distribuída permite especificar dinamicamente uma fonte de dados de arquivo histórico diferente para cada pena de um gráfico de tendência, permitindo ao operador também ver a historia do InTouch e a historia do IndustrialSQL na mesma tendência.

Conversão de Resolução Dinâmica

Pode-se desenvolver aplicação em uma resolução de tela e rodar esta mesma aplicação em outra resolução, sem afetar a original. As aplicações podem também ser rodadas em uma resolução definida pelo usuário, em vez da resolução do display.

Endereçamento de Referência Dinâmico

As referências de fonte de dados podem ser alteradas para várias fontes de dados dinamicamente endereçadas com um único tagname.

Desenvolvimento de Aplicação da Rede

As novas características de desenvolvimento remoto acomodam grandes instalações com vários nós, incluindo atualização de todos os nós em uma rede de uma única estação de desenvolvimento.

FactoryFocus

FactoryFocus é uma versão de somente ver (only view) da versão Runtime do InTouch, que permite aos Gerentes e Supervisores a habilidade de ver processos de aplicação HMI em tempo real. A segurança do sistema é aumentada com a capacidade de **somente ver**, desde que nenhum dado pode ser mudado. Não é necessário mudar as aplicações do InTouch para usar FactoryFocus.

O FactoryFocus funciona somente como um cliente. Nenhum dado pode ser escrito usando DDE ou SuiteLink, nem os dados podem ser mexidos (poke) para programas como Excel. Os alarmes podem ser vistos mas não tomados conhecimentos. FactoryFocus não pode agir como um Servidor I/O para requisitar clientes. As características como animação de links, tagnames, tempo real e tendências históricas são apenas vistas.

Outros Benefícios

Outras características do InTouch incluem:

- conectividade com mais de 300 Servidores I/O
- Solução de baixo custo para ver o processo, menor que com um HMI completo

- VTQ (valor do dado, com TimeStamp e Qualidade associadas) de I/O tipo tagnames fornecidos por um servidos I/º
- Função **HTSelectTag()** que permite ao usuário, em runtime, selecionar qualquer Tagname registrado historicamente.
- Protocolo SuiteLink, que permite comandos de aplicação (lê, escreve e atualiza) e seus dados associados serem passados entre aplicações de cliente e aplicações do servidor.
- Facilmente colocado em rede com NetDDE.
- Visão do processo em aplicação de tempo real.
- Formato GUI (Interface de Unidade Gráfica) padrão para Windows NT ou Windows 95.
- click direito no mouse suporta através do WindowMaker para acesso rápido para comandos usados freqüentemente.
- Barras de ferramentas flutuantes e fixas.
- Paleta de cores personalizável que fornece 16,7 milhões de cores (suporte limitado pela capacidade do cartão de vídeo do computador).
- Suporte para nome de arquivo longo, como no Windows 95 e Windows NT.

4.4. Tipos de Equipamentos

Existem três tipos de equipamentos constituintes do sistema de supervisão:

1. animados DDE (Dynamic Data Exchange),
2. animados não-DDE
3. não animados

Equipamentos animados DDE

Equipamentos DDE são aqueles cujos símbolos no programa aplicativo geram comandos para o campo via sistema de aquisição de dados (por exemplo, atuação das válvulas solenóides) ou que recebem sinais do campo via sistema de aquisição de dados (por exemplo, alarmes em geral, como PSH e LSH).

Equipamentos animados não DDE

Equipamentos não-DDE são aqueles cujos símbolos do aplicativo não geram comandos para o campo via sistema de aquisição de dados e não recebem sinais do campo (por exemplo bombas, e outros equipamentos cuja existência na tela serve somente para ajudar no acompanhamento do processo e definir o local da atuação), mas cujo status pode ser alterado pelo operador.

Equipamentos não animados

Equipamentos não-animados são aqueles cujos símbolos do aplicativo não geram comandos para o campo via sistema de aquisição de dados, não recebem sinais do campo e não podem ter seu status alterado pelo operador (por exemplo as válvulas de alívio, válvulas auto reguladas, e outros equipamentos) e cuja existência na tela serve somente para ajudar na visualização do processo.

4.5. Operação

Tipicamente, tem-se as seguintes telas para a operação do processo:

1. Abertura
2. Visão geral
3. Operação
4. Tendência real
5. Tendência histórica
6. Alarmes
7. Ajuda
8. Menu de utilitários
9. Ajuste de parâmetros
10. Relatório instantâneo

A seguir são mostradas as telas de um programa Supervisório associado a um controlador lógico programável (CLP) como aquisição de dados e aplicado a uma indústria petroquímica típica .

Inicialização do Sistema

Se o sistema estiver corretamente instalado e o CLP estiver energizado, ao se ligar ou resetar o microcomputador, o sofware aplicativo da planta e o driver de comunicação entram automaticamente em operação, mostrando a tela de abertura.

Tela de Abertura

A tela de Abertura aparece quando o software InTouch é inicializado e oferece acesso às telas de operação. A função da tela de Abertura é apenas a de efetuar a apresentação do aplicativo. Pode-se visualizar a versão do programa no canto inferior direito. Qualquer modificação efetuada no sistema implica na mudança do número da versão e data. O operador deve se certificar que está trabalhando com a versão mais atualizada do aplicativo.

Pressionando a barra de espaço, entra-se na Tela 0, que é a tela de Visão Global do sistema.

Pressionando a tecla F1 obtém-se uma tela de Ajuda sobre a operação básica do sistema.

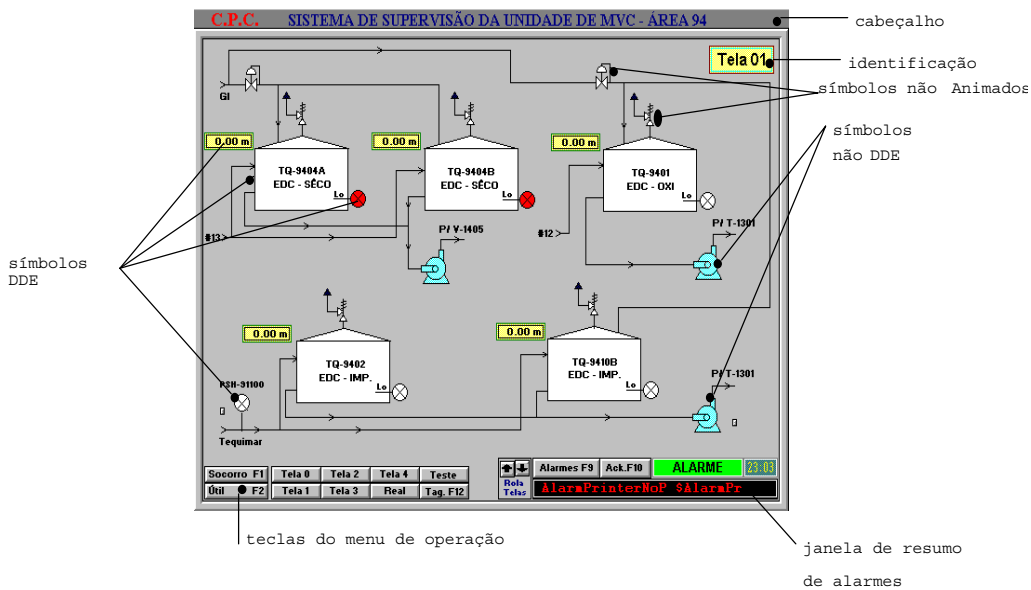



Fig. 11.23 Exemplo de Tela de Operação Típica

Tela de Visão Geral

A tela de Visão Geral apresenta todos os elementos ativos de cada uma das telas de operação, de forma resumida.

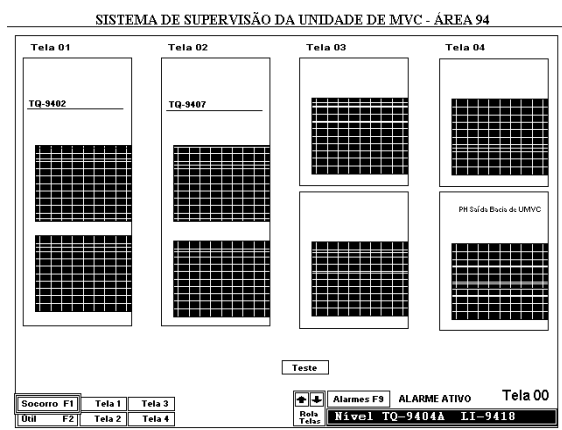



Fig. 11.24 Tela de Visão Geral

A tela de Visão Geral (Tela 00), mostra de uma forma resumida todos os elementos que compõem as demais telas de operação. Sua função é a de permitir ao operador uma visão macroscópica do aplicativo.

Na tela de Visão Geral, o operador pode visualizar todas as indicações analógicas de nível, pressão, vazão e pH de todas as telas.

Além das indicações analógicas, a tela de Visão Geral mostra ainda :

1. Indicadores individuais divididos por tela, que fazem o acompanhamento de alarmes, ao lado dos gráficos de Tendência Real. Assim que ocorrer um alarme em uma tela, este indicador reflete o estado do mesmo, piscando em vermelho. Quando o operador reconhece este alarme, o indicador fica laranja, permanece laranja enquanto existir um alarme ativo na tela e fica verde quando não houver mais alarmes.

Se o operador posiciona o cursor sobre estes indicadores, através do mouse ou via tecla TAB, tem-se o acesso direto à tela de alarmes correspondente à tela que está originando o alarme. No menu inferior existe também uma janela onde aparece o ultimo alarme ocorrido.

Menu da Tela de Visão Geral

O menu inferior permite que o operador execute as seguintes funções :

1. A tecla SOCORRO (F1) chama a tela de Ajuda Geral .
2. A navegação entre as telas de operação (tela 1 a Tela 4) é feita através de teclas individuais acessadas pelo mouse, pela tecla TAB ou ainda com o uso das teclas PGUP ou PGDN.
3. A tecla de ALARMES (F9) do menu permite que o operador entre na tela de alarmes e eventos do sistema.
4. A tecla UTIL (F2) do menu permite que o operador acesse outras funções disponíveis no sistema.

Tela de Ajuda

A tela de Ajuda, normalmente associada à tecla F1, fornece auxilio operacional sobre a operação das teclas do programa supervisório.

Tela de Operação

As telas de Operação (Telas 00 a 04) possuem as informações mais detalhadas acerca do processo em supervisão.

A tela de Operação mostra em detalhes os elementos que compõem um subprocesso ou parte do processo.

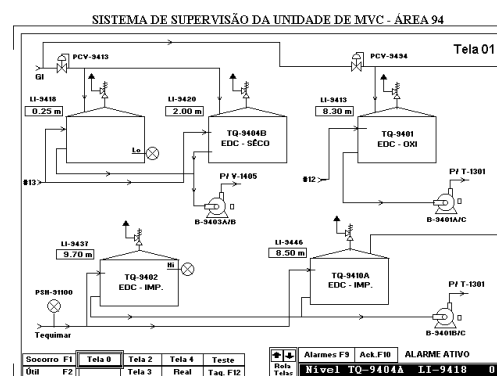



Fig. 11.25 Tela de Operação 01 - Tanques

Neste exemplo, a área de tancagem (ÁREA 94) está dividida em três telas (Telas 01, 02 e 03) e a área de tratamento (ÁREA 95) em uma tela (Tela 04). A função da tela de Operação é a de permitir ao operador uma visão detalhada das condições do processo e permitir a operação de equipamentos.

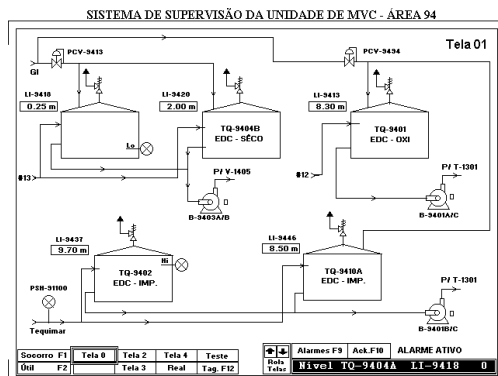



Fig. 11.26 Tela de Operação 02 - Tanques

Nesta planta, atualmente, só é possível operar as válvulas HV das esferas (Tela 03) que são equipamentos DDE ativos.

A tela típica de operação possue um menu inferior similar à tela geral (TELA 0).

No caso específico da TELA 03 tem-se a atuação das válvulas manuais (HV) individualmente. Para abrir ou fechar determinada HV, o operador deve posicionar o cursor sobre o tag desta válvula, com o mouse e clicar sobre a mesma ou com a tecla TAB e digitar ENTER. Neste momento aparece um menu para a seleção e confirmação da operação.

As bombas não recebem sinal do campo mas, opcionalmente, podem ser sinalizadas da mesma maneira que as HV's, porém não executam nenhuma função no campo. A sinalização indica ao operador que determinada bomba encontra-se ligada ou desligada. As operações de ligar e desligar as bombas vão para o arquivo de eventos, podendo servir de acompanhamento das ações de processo.

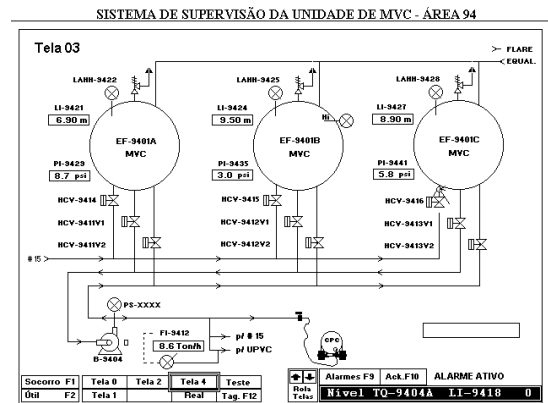



Fig. 11.27 Tela de Operação 03 - Esferas

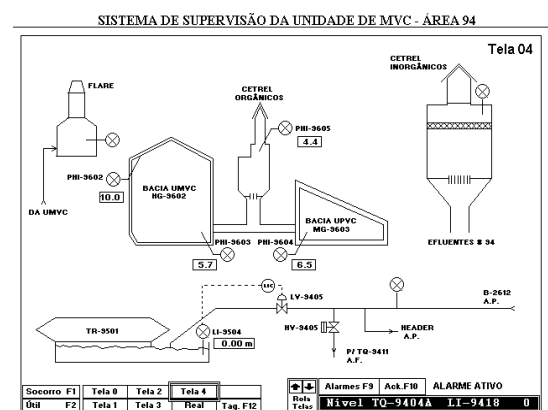



Fig. 11.28 Tela de Operação 04 – Efluentes

Os desenhos representando os Tanques e Esferas são animados proporcionalmente as leituras dinâmicas de nível fornecidas pelo CLP, permitindo ao operador uma visão global dos níveis dos Tanques e Esferas. Adicionalmente, um retângulo ao lado de cada Tanque/Esfera tem um valor na forma digital. Para as pressões, vazões e leituras de PH existem retangulos correspondentes às indicações.

Tela de Alarmes

A tela de Alarmes apresenta os alarmes e os eventos correspondentes às telas de operação de onde foram chamadas.

A tela de Alarme é constituída de uma área onde aparecem a data, hora, evento, serviço, tag, grupo de alarmes e valor dos alarmes. Para diferenciar os estados dos alarmes são usadas cores diferentes para alarme ativo (vermelho), alarme reconhecido (amarelo) e retorno ao normal (verde).

Fig. 11.29 Tela de Alarmes

Para cada uma das telas de operação (Tela 1 a Tela 4) tem-se a alista apenas dos alarmes correspondentes a cada uma das telas, sem os eventos. A tela de Alarme pode ser chamada de duas formas no aplicativo:

1. pelas teclas ALARMES F9 ou
2. pelos indicadores de alarme presentes nas telas de Alarme e de Visão Geral.

Para a Tela 00, quando se chama a tela de Alarmes através da tecla ALARMES F9, são apresentados todos os alarmes e eventos de todas as telas, porém não é possível fazer o reconhecimento dos alarmes. Para reconhecer um alarme ativo é necessário que o operador entre na tela de operação correspondente ao alarme ou na tela de alarmes correspondente a tela de operação onde se encontra o alarme e pressione a tecla ACK (F10).

As setas correspondem as teclas PGUP e PGDN do microcomptador permitem navegar pelos alarmes que já ocorreram.

O campo Nível de Alarme define a prioridade de apresentação dos alarmes. (Os alarmes definidos com os níveis indicados são mostrados na tela). A definição dos níveis de alarme só pode ser efetuada por senha cadastrada maior que 90000 e é feita posicionando se o cursor sobre os campos "DE" e "ATÉ" e escolhendo os níveis desejados.

Tela do Menu de Utilitários

O submenu de Utilitários permite a execução de outras tarefas no sistema, como acesso à tela de ajuste de parâmetros de alarme, execução de relatórios, cadastramento de senhas e operadores, colocação de equipamentos em manutenção e outras.

A tecla Relatório permite a chamada da tela de execução de relatório instantâneo.

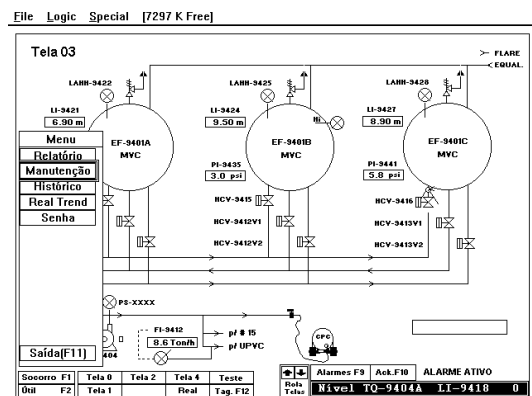



Fig. 11.30 Submenu de Utilitários

Tela de Relatório Instantâneo

A tela de Relatório Instantâneo fornece as informações sobre o estado do processo impressas na hora solicitada (por exemplo, os níveis dos tanques e outros detalhes de operação.

Tela de Manutenção

A tecla Manutenção chama uma tela para colocação de equipamentos em manutenção, compostas por tres telas

1. Tela de Ajuste de Parâmetros Digitais

2 Tela de Ajuste de Parâmetros Analógicos

3.Tela de Manutenção CP3000

Tela de Ajuste de Parâmetros Digitais

A tela de Ajuste de Parâmetros Digitais permite a alteração dos níveis de alarmes e a colocação de instrumentos em manutenção.

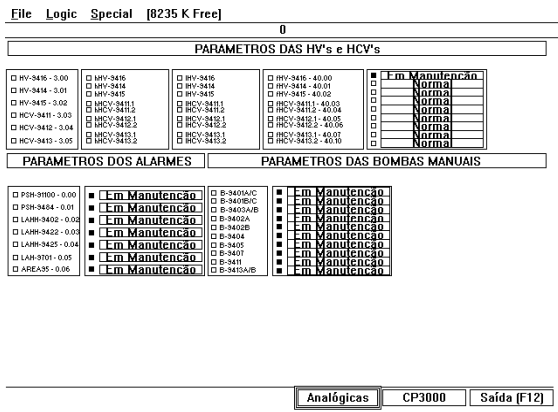



Fig. 11.31 Parâmetros de Equipamentos Digitais

Quando se pressiona a tecla de Manutenção, aparece um menu para a colocação do equipamento associado em estado de manutenção ou normal. Quando é colocado em estado de manutenção, aparece uma plaqueta de manutenção no equipamento corrrespondente. Quando em manutenção o equipamento não gera alarmes.

O menu inferior apresenta as opções para ir para a tela de tags analógicos ou para a tela de manutenção do CP3000.

Fig. 11.32 Parâmetros de Equipamentos Analógicos

Tela de Ajuste de Parâmetros Analógicos

As funcões de manutenção da tela de tag's analógicos são similares às funções da tela de parâmetros digitais exceto que aqui pode-se selecionar também os valores de alarme alto e baixo (Hi e Lo) para os equipamentos.

Para escolher os níveis de alarme, deve-se posicionar o cursor sobre o campo correspondente, através do mouse e do clic ou da tecla TAB e do ENTER, abrindo-se uma janela para a entrada do novo valor.

Tela de Manutenção CP3000

A tela de Manutenção do CP3000 apresenta ao operador o símbolo do equipamento que se encontra com falha piscando em vermelho. O resumo de alarmes existente nesta tela imprime apenas os alarmes referentes aos diagnósticos do sistema.

O campo comunicação CLP1 apresenta-se verde quando o microcomputador estiver **em linha** com o CLP.
Do lado direito tem-se os principais diagnósticos de registro do CP3000, como falha na CPU, R-NET, Trilho ?.

O campo de Diagnóstico Expandido mostra o primeiro erro de execução do programa associado à atuação da bobina de erro do CP3000 (76.00).

Fig. 11.33 Tela de Manutenção do CP3000

Tela de Tendência Histórica

A tecla Histórico permite a chamada da tela de tendência histórica.

A tela de Tendência Histórica permite a visualização de qualquer variável definida como de tendência histórica no sistema. Os botões PENA1 a PENA4 permitem a visualização simultânea de até quatro variáveis históricas.

O botão da Escala Horizontal permite escolher o período de visualização e o de Escala Vertical permite a expansão horizontal de determinado trecho do gráfico. Para conseguir isto o operador efetua uma função de DRAG, ou seja , posiciona o cursor sobre o botão correspondente, clica o mouse sobre ele, mantem o mouse pressionado e arrasta o cursor para a posição que se quer fazer a expansão.

Nesta tela, existe um resumo de alarmes no menu inferior para alertar o operador em caso de ocorrências de alarme, enquanto ele estiver monitorando as variáveis históricas.

Tela de Tendência Real

A tela de Tendência Real apresenta os dados de tendência real para as variáveis correspondentes à tela de operação de onde foi chamada.

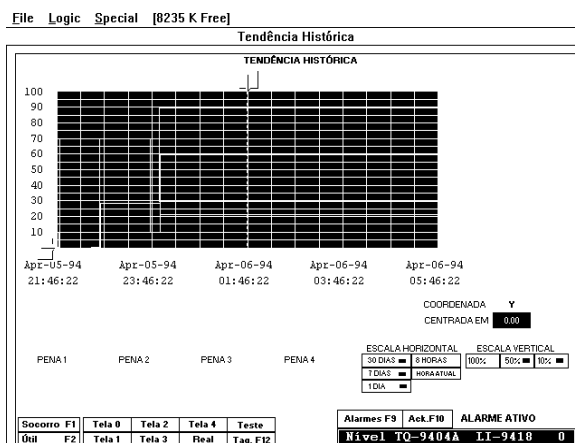



Fig. 11.34 Tela de Tendência Histórica

Tela de Seleção de Operador

A tecla SENHA chama a tela de Seleção de Operador. O operador deve ter um nome e uma senha válidos para ter acesso à operação do sistema.

Esta tela de Seleção de Operador possui um menu com as seguintes alternativas:

1. Cadastro de novo operador (CAD-OP)
2. Muda senha
3. Saída

A tecla de Cadastramento de Operadores (CAD-OPER.) tem a função de chamar a tela de habilitação de novos operadores (CONFIGURE USERS).

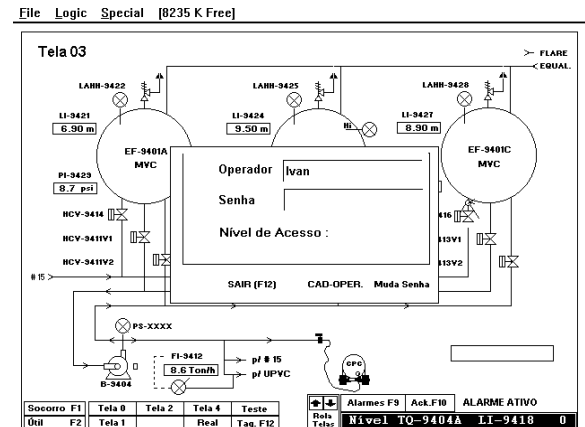



Fig. 11.35 Seleção de Operadores

A tela de Seleção de Operador permite ao operador entrar no sistema. Para isto ele posiciona o cursor sobre o campo OPERADOR e aparece uma janela para a entrada do nome. Em seguida, o operador posiciona o cursor sobre PASSWORD e digita a palavra chave correspondente. O nome e a hora em que o operador entrou no sistema ficam gravados no relatório de eventos.

Se a senha não for válida ou o operador não estiver cadastrado, ele não consegue entrar no sistema.

Para retirar operador já selecionado digita-se NONE no campo operador. O campo NÍVEL DE ACESSO indica em um grau crescente o tipo de atividades que o operador pode efetuar no sistema.

Tela de Cadastro de Novo Operador

Se o operador possuir senha com nível maior que 90000 estará habilitado a cadastrar novos operadores. Para isto, ele posiciona o cursor sobre o campo CAD-OPER. e clica o mouse, aparecendo a tela de configuração de usuários (Configure Users).

Tela de Troca de Senha

Pode se também alterar a senha de qualquer operador, posicionando-se o cursor sobre o campo MUDA SENHA e clicar o mouse que automaticamente abre-

se uma tela chamada CHANGE PASSWORD para a entrada de dados.

Para a troca da senha, o operador deve preencher os campos OLD PASSWORD com a senha antiga, NEW PASSWORD com a nova senha e RETYPE NEW PASSWORD, repetindo a nova senha.

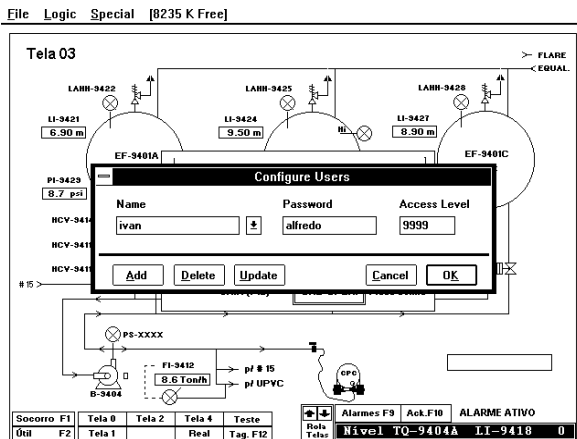



Fig. 11.36 Cadastro de Novos Operadores

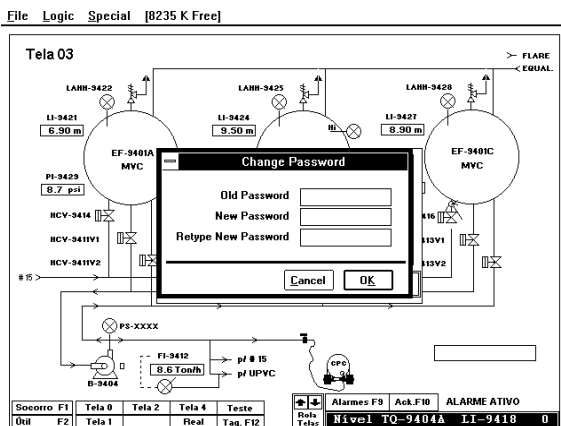



Fig. 11.37 Troca de Senhas

Tecla-se OK para sair da tela CHANGE PASSWORD.

4.5. Redes de controle de processo

Um software aplicativo pode rodar em um computador isolado ou em rede. A aplicação isolada possui uma única interface de operação para cada sistema monitorado, como em um controle de uma caldeira. A aplicação isolada é mais fácil de configurar e de fazer manutenção.

As aplicações distribuídas, são mais complexas e podem possuir várias camadas de rede. Estas aplicações distribuídas, tipicamente, possuem uma estação de desenvolvimento central, armazenamento central de dados e várias estações clientes ou remotas, que interagem com a estação central e entre si.

Aplicação isolada

A aplicação isolada possui uma única interface de operação para cada processo monitorado. Consiste de um computador pessoal (CP) isolado que funciona como a principal interface de operação. O CP é ligado ao sistema que coleta dados do

processo industrial através de conexão direta, como um cabo serial. O sistema de aquisição de dados pode ser um controlador lógico programável (CLP).

Fig. 11.38. Sistema supervisório com único computador

Nesta configuração, uma única aplicação do supervisório pode ser instalada no computador. O desenvolvimento pode ser feito no computador diretamente, ou feito em outro, modificado e depois copiado de volta para o computador original. Embora não esteja em rede, a arquitetura isolada analisada, para fins de análise e completude.

Arquitetura baseada em Cliente

Cliente é uma unidade funcional que recebe serviços compartilhados de um servidor. Em um ambiente AIX (Advanced Interactive Executive) de arquivo distribuído, um sistema que depende de um servidor para fornecer a ele programas ou acesso para programadas.

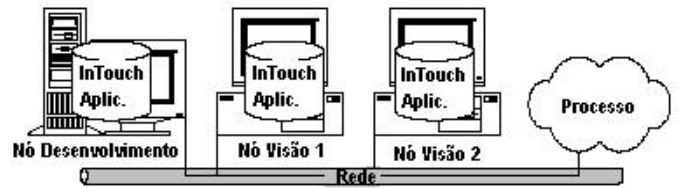
A janela cliente é aquela em que a aplicação mostra a saída e recebe a entrada. Esta janela está localizada dentro da janela de referência (frame), sob o barra título da janela e qualquer barra de menu e dentro de qualquer barra de rolamento.

Em ambiente TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), o modelo cliente servidor interage no processamento dos dados distribuídos, em que um programa em um local envia uma requisição para um programa em outro local e espera a resposta. O programa requisitante é chamado de cliente; o programa de resposta é chamado de servidor.

A estação de trabalho cliente recebe a informação de status da estação de trabalho servidor.

Um componente cliente é uma aplicação que acessa dados de um servidor. Uma aplicação cliente funciona para apresentar os dados para usuário em um contexto válido, através de indicação, gráfico e animação. A aplicação fornece um meio para configurar como os dados serão recuperados, processados ou armazenados no servidor.

A arquitetura baseada em cliente é a uma evolução natural da aplicação isolada. Ela necessita de uma única copia do programa aplicativo para cada computador rodando o modo de visão. Esta aplicação pode ser instalada em cada disco rígido do computador ou em único local do servidor da rede. Na **Fig. 11.39**, uma aplicação foi desenvolvida e testada no nó de Desenvolvimento e depois copiada para cada nó de Visão.

Fig. 11..39. Arquitetura baseada em Cliente

Como cada nó de Desenvolvimento possui um copia idêntica da aplicação, cada nó deve ter também acesso identifico a qualquer fonte de dados referida pela aplicação. Estas fontes podem ser Servidores I/O, base de dados SQL, arquivos DOS. Se é usada uma fonte central de dados (e.g., um servidor I/O compartilhado pela rede), cada nó de Visão mantém uma conversação separada com o servidos compartilhado, que pode resultar em um aumento da carga da rede. Assim, é recomendável considerar servidores I/O individuais em cada nó, se é esperado um uso pesado da rede.

Atualmente esta rede é substituída, com vantagens, pela NAD (Ntetwork Application Development), mas mesmo assim é apresentada para se ter uma visão geral das arquiteturas.

Vantagens

1. Desenvolvimento sem restrição da aplicação
2. Redundância inerente, pois cada nó é auto suficiente.
3. Não há limite de número de nós de Visão.

Desvantagens

1. A distribuição da aplicação é difícil.
2. Todos os nós devem ter acesso idêntico às mesmas fontes de dados.

Arquitetura baseada em Servidor

Servidor é uma unidade funcional que fornece serviços compartilhados para uma rede, e.g., servidor de arquivo, servidor impressora, servidor correio.Em uma rede, é uma estação de dados que fornece facilidades para outras estações. Em um ambiente AIX (Advanced Interactive Executive) de arquivo distribuído, um programa aplicativo que usualmente roda em segundo plano e é controlado pelo controlador do programa do sistema. O programa manipula a comunicação interprocesso, ligacoes dos cleitnes, faz a demultiplexagem nas telas e multiplexa as entradas de volta para os clientes.

A janela cliente é aquela em que a aplicação mostra a saída e recebe a entrada. Esta janela está localizada dentro da janela de referência (frame), sob o barra título da janela e qualquer barra de menu e dentro de qualquer barra de rolamento.

Em ambiente TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), um sistema na rede que manipula a requiscao de um sistema em outro local, chamado cliente servidor.

A estação de trabalho servidor envia a informação de status para a estação de trabalho cliente. A estação de trabalho servidor usa o monitor gráfico e o administrador de visão para funções administrativas.

A arquitetura baseada em servidor permite vários nós de Visão compartilhar uma única aplicação do supervisório. Na **Fig. 11.40**, dois nós de Visão estão acessando a mesma aplicação, do nó de Desenvolvimento. Cada nó de Visão deve criar um drive lógico no programa da rede e mapeá-lo para o drive da rede compartilhado do nó de Desenvolvimento. Cada nó de Visão deve também ter a aplicação compartilhada registrada com o programa aplicativo.

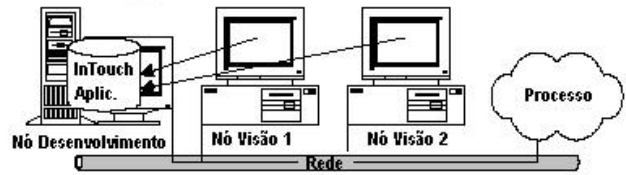



Fig. 11.40. Arquitetura baseada em Servidor

Como na arquitetura baseada em cliente, cada nó de Visão deve ter acesso idêntico a quaisquer fontes de dados referidas pela aplicação. Deve haver também meios para personalizar os locais da fonte de dados usando uma combinação de scritps para obter o nome do nó e alterar cada local de fonte de dado baseado neste nome.

Atualmente esta rede é substituída, com vantagens, pela NAD (*Network Application Development*), mas mesmo assim é apresentada para se ter uma visão geral das arquiteturas.

Vantagens:

1. Manutenção de apenas uma aplicação.
2. Nós de visão atualizam automaticamente quando as aplicações se alteram.

Desvantagens

1. Desenvolvimento de aplicação é restrito.
2. Não há redundância se a estação de Desenvolvimento cai.
3. Todos os nós devem ter a mesma resolução da tela.

Servidor I/O

Um Servidor I/O é uma aplicação que permite outros programas de aplicação Windows acessar dados no nível mais baixo de chão de fábrica, como Controladores Lógico Programáveis ou Unidades Remotas. Geralmente, um Servidor I/O se comunica com um dispositivo através de porta serial do computador onde a aplicação Servidor I/O está instalada. Porém, alguns CLPs possuem placas e módulos que são instalados no computador servidor I/O.

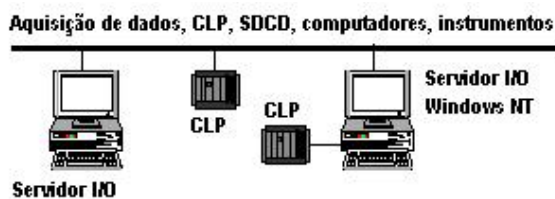



Fig. 11.41. Servidor I/O

Arquitetura Mestre/Escravo

Estação mestre (master) é a que pode selecionar e transmitir uma mensagem para uma estação escrava. Em dado momento, só pode existir somente uma estação mestre na link de dados.

Na rede, o nó mestre é aquele que inicia a transferência de todos os dados. A arquitetura mestre/escravo permite que os nós de Visão sejam configurados em uma arquitetura tipo servidor ou cliente, mas não requer que todos os nós tenham as mesmas fontes de dados.

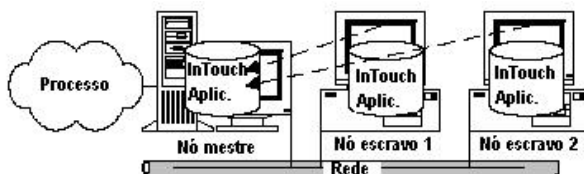



Fig. 11.42. Arquitetura baseada em Mestre/Escravo

A arquitetura define um nó como *Mestre*, geralmente o computador ligado ao processo industrial. Este nó age como um servidor para os nós remotos ou escravos rodando a mesma aplicação. Na **Fig. 11.**42., cada nó Escravo pode rodar uma cópia única própria ou rodar uma aplicação comum. De qualquer modo, uma vez rodando, cada nó Escravo se refere a todas suas fontes de dados I/O, através do nó Mestre, que está conectado ao processo monitorado.

Quando esta aplicação roda no nó Mestre, as referências apontam para as fontes locais, quando roda de um nó Escravo, as referências apontam para as fontes remotas do Mestre.

Vantagens

1. Evita que os nós inundem a rede, afunilando toda a comunicação através de uma fonte (nó Mestre)
2. Fornece notificação automática de mudanças de aplicação

Desvantagens

1. A distribuição das aplicações é difícil.
2. Única fonte de aplicação – sem redundância se o nó mestre cai.

A base de dados tipicamente não é a mesma entre o Mestre e Escravos.

Apostilas\Automação Controle.doc 03 NOV 97 Isubstitui Platt3.doc, 13 MAI 97)

11

Integração de Sistemas

1. Rede de Computadores

1.1. Introdução

Os três últimos séculos foram dominados por alguma tecnologia singular:

1. o século XVIII foi o tempo dos sistemas mecânicos e da revolução industrial
2. o século XIX foi a idade da máquina a vapor
3. o século XX teve a tecnologia chave da coleta, processamento e distribuição da informação. Entre as tecnologias, houve:
   a) a instalação de redes telefônicos em todo o mundo
   b) a invenção do rádio e da televisão
   c) o lançamento de satélites de comunicação.
   d) o aparecimento e crescimento exponencial da indústria de computador e informática.

Às vésperas do século XXI, as diferenças entre coletar, transportar, armazenar e processar a informação estão desaparecendo rapidamente. A habilidade de coletar, processar e distribuir a informação cresce, a demanda para processar a informação de modo ainda mais sofisticado cresce mais rápido ainda. Organizações com centenas de escritórios espalhados pelo mundo podem ser capazes de examinar o status corrente de cada escritório, mesmo o mais distante, através de um simples aperto de botão. Embora a indústria de computador seja nova, comparada com a indústria automobilística ou de transporte aéreo e marítimo, os computadores tiveram um progresso espetacular em um curto espaço de tempo. Se a indústria automobilística tivesse evoluído do mesmo modo que a de computador, hoje, um carro Rolls Royce teria a potência de um avião, desenvolveria a velocidade supersônica e custaria US$20,00. Porém, a indústria automobilística reage, afirmando que nenhum carro pára repentinamente, dizendo *erro fatal de sistema*, todos os carros podem andar em qualquer rodovia e ninguém precisa trocar o motor do carro anualmente.

1.2. Rede e Sistema Distribuído

Rede

Durante as duas primeiras décadas de sua existência, os sistemas de computador eram altamente centralizados, usualmente dentro de uma única grande sala. Comumente, esta sala tinha paredes de vidro, através das quais os visitantes poderiam admirar a grande maravilha eletrônica interior. Uma companhia de porte médio possuía um ou mais computadores e uma grande companhia tinha algumas centenas de computadores. A idéia de que 20 anos depois, computadores igualmente poderosos e de tamanho físico muito menor seriam produzidos maciçamente em escala de milhões e usados como utensílio doméstico era pura ficção científica.
O avanço das comunicações teve uma influência profunda no modo de como os sistemas de computador são organizados. O conceito de centro de computador, como uma sala com um grande computador (*main frame*) para o qual os usuários trazem seus trabalhos para serem processados rapidamente se tornou obsoleto. Este modelo tinha dois inconvenientes:

1. conceito de um único grande computador fazendo todo o trabalho
2. a idéia de os usuários trazerem trabalho para o computador em vez de levar o computador para os usuários.

Por isso, o modelo antigo de um único computador atender a todas as necessidades computacionais da organização está sendo substituído rapidamente por um modelo em que uma grande quantidade de computadores separados mas interligados para fazer o trabalho. Este sistema é chamado de rede de computadores.

O termo rede de computador significa um conjunto de computadores *autônomos interligados* para trocar informação. A ligação não precisa ser necessariamente um par de fios de cobre mas podem ser usados laser, fibra óptica, microondas e satélites de comunicação.

Rede com muitos computadores localizados no mesmo prédio é chamada de **LAN** (**local area network – rede de área local**), em contraste com a chamada **WAN (wide area network – rede de área distante**), também chamada de rede de longo alcance – **long haul network**.

Uma rede é uma configuração de dispositivos de processamento de dados e programa, ligados para trocar informação. Rede é um grupo de nós e links que os interligam.

Quando se impõe que os computadores sejam autônomos, se excluem os sistemas em que há uma relação clara de mestre/escravo. Se um computador pode, à força, partir, parar ou controlar outro, os computadores não são autônomos. Um sistema com uma unidade de controle e muitos escravos não é uma rede. Também não é uma rede um grande computador com os periféricos de leitoras remotas de cartão, impressoras e terminais.

Sistema distribuído de controle

Há uma grande confusão na literatura entre uma **rede de computadores** e um **sistema distribuído**. A distinção básica é que em um sistema distribuído, a existência de computadores autônomos múltiplos é transparente (não visível) para o usuário. O usuário tecla um comando para rodar um programa e ele roda. É uma questão do sistema operacional selecionar o melhor processador, encontrar e transportar todos os arquivos de entrada para este processador e colocar os resultados em um local apropriado.

O usuário de um sistema distribuído não sabe que há vários processadores, ele vê tudo como um único processador virtual. A alocação de trabalhos para processadores e arquivos para discos, movimento de arquivos entre onde eles estão armazenados e para onde eles são necessários e todas as outras funções do sistema são automáticas.

Com uma rede de computadores, um usuário deve *explicitamente* entrar (log on) em uma máquina, *explicitamente* submeter os trabalhos remotamente, *explicitamente* mover arquivos no sistema e geralmente manipular toda a personalidade de gerenciamento da rede. Com um sistema distribuído, nada deve ser feito explicitamente, tudo é feito automaticamente pelo sistema sem o conhecimento do usuário.

Na realidade, um sistema distribuído é um caso especial de rede, onde o programa dá a ela um alto grau de coerência e transparência. Assim, a diferença entre uma rede e um sistema distribuído reside no programa (software), especialmente o sistema operacional e praticamente não há diferença de equipamento (hardware).

Mesmo assim, há uma grande superposição entre os dois assuntos. Por exemplo, tanto o sistema distribuído como a rede de computador precisam mover arquivos dentro do sistema. A diferença fica em quem invoca o movimento, o sistema ou o usuário.

1.3. Objetivos da Rede

Compartilhamento de fontes

Muitas organizações já possuem uma grande quantidade de computadores em operação, geralmente distantes entre si. Por exemplo, uma companhia com várias fábricas pode ter um computador em cada local para rastrear arquivos de estoque, monitorar produtividade e fazer a folha de pagamento local. Inicialmente, cada um destes computadores pode ter trabalhado isolado dos outros, mas em algum momento, a direção pode ter decidido ligar todos os computadores para poder extrair

e correlacionar a informação de toda a companhia.

Colocando em uma forma mais geral, o assunto aqui é **compartilhamento de fontes** e o objetivo é fazer todos programas, dados e equipamentos disponíveis para qualquer pessoa na rede, sem considerar a localização física da fonte e do usuário. Em outras palavras, o simples fato de um usuário estar a 1000 km distante de seus dados não evita que ele use os dados como se eles fossem locais.

Este objetivo pode ser resumido, dizendo que é uma tentativa de acabar com a *tirania da geografia*.

Uma companhia que tenha produzido um modelo simulando a economia mundial pode permitir a seus clientes conectar a uma rede e rodar o programa para ver como várias taxas de inflação projetadas, taxas de juros e flutuações cambiais podem afetar seus negócios. Este enfoque é geralmente preferível a vender o programa completo, especialmente se o modelo é dinâmico e continuamente está sendo ajustado ou requer um computador mainframe para ser rodado.

Atualmente é comum uma pessoa, sentada em sua casa, fazer reservas de passagens aéreas, trens, ônibus, balsas, hotéis, restaurantes, teatros, em qualquer parte do mundo com confirmação instantânea. Banco caseiro (*home banking*) e jornal automático também são acessíveis. Os jornais eletrônicos mostram notícias recentes, resultados de jogos dos esportes preferidos, que serão publicadas somente no dia seguinte. Há também revistas científicas, periódicos, formando uma biblioteca totalmente automatizada. Dependendo do custo, tamanho e peso do terminal, a palavra impressa pode se tornar obsoleta. Os cépticos devem notar o efeito da impressa escrita produziu no manuscrito iluminado medieval.

Economia

Outro objetivo (talvez o mais importante) é **economizar dinheiro**. Pequenos computadores tem uma melhor relação preço/desempenho do que os grandes. Os grandes computadores (m*ainframes)* são geralmente um fator de 10 mais rápidos do que o mais rápido microcomputador com um único chip, mas eles custam 100 vezes mais. Este desbalanço tem causado muitos projetistas de sistemas construir sistemas consistindo de poderosos computadores pessoais, um por usuário, com dados mantidos em um ou mais computadores **servidores de arquivos** compartilhados.

Um ponto relacionado é a habilidade de aumentar o desempenho do sistema gradualmente quando a carga de trabalho aumenta pela adição de mais processadores. Com mainframe centralizado, quando o sistema está saturado, ele deve ser substituído por um maior, usualmente com grande despesa e com maior perturbação aos usuários.

Todas estas aplicações usam redes por razões econômicas, pois chamar um computador distante via rede é mais barato que chamá-lo diretamente. O custo é mais baixo porque uma chamada telefônica dedicada é mais cara e seu custo é de 24 horas, enquanto uma via de acesso a uma rede usa linhas de longa distância somente enquanto os dados estão sendo realmente transmitidos.

Confiabilidade

Um segundo objetivo é fornecer **alta confiabilidade** tendo fontes alternativas de fornecimento. Por exemplo, todos arquivos podem ser replicados em duas ou mais máquinas, de modo que se uma delas está não disponível (devido à falha do equipamento), as outras cópias podem ser usadas. Além disso, a presença de CPUs múltiplas significa que se uma falha, as outras podem ser capazes de assumir seu trabalho, embora com desempenho reduzido. Para fins militares, bancários, tráfico aéreo e muitas outras aplicações, a habilidade de continuar operando em face de problemas de equipamento é muito importante.

Substituir um único computador mainframe por estações de trabalho em um LAN não torna muitas novas aplicações possíveis, embora possa melhorar a confiabilidade e desempenho. Em contraste, a disponibilidade de um WAN (público) torna viáveis muitas novas aplicações. Algumas destas novas aplicações podem ter efeitos importantes na sociedade como um todo.

Comunicação

Já outro objetivo de estabelecer uma rede de computador tem pouco a fazer com a tecnologia como todo. Uma rede de computador pode fornecer um poderoso **meio de comunicação** entre pessoas muito separadas geograficamente.

Usando uma rede, é fácil para duas ou mais pessoas que vivem distantes escrever um relatório juntas. Quando um autor faz uma alteração no documento, que é mantido em linha, os outros podem ver a alteração imediatamente, em vez de esperar vários dias para uma carta. Tal presteza torna possível a cooperação entre grupos de pessoas distantes onde isso teria sido impossível anteriormente.

Os cientistas de computador já o usam para enviar correio eletrônico de seus terminais para seus colegas em qualquer lugar do mundo.

No futuro, será possível para qualquer pessoa, não apenas para pessoal no negócio de computador, enviar e receber correio eletrônico. Este correio pode também ser capaz de conter voz digitalizada, figuras e possivelmente mesmo televisão móvel e imagens de vídeo. Pode-se facilmente imaginar crianças em diferentes países tentando aprender a língua de outra criança desenhando uma figura de uma criança em um tela compartilhada e nomeando-a de *criança, jeune fille* ou *girl*.

Sistemas de catálogos eletrônicos já existem mas tendem a ser usados por especialistas em computador pois são orientados para tópicos técnicos e são limitados por objetivos geográficos. Sistemas futuros serão nacionais ou internacionais, serão usados por milhões de pessoas não técnicas e cobrirão uma faixa ampla de assuntos.

Geralmente se fala que há uma corrida entre o transporte e a comunicação e o que ganhar tornará o outro desnecessário. Usando uma rede de computador como um sistema sofisticado de comunicação pode reduzir a quantidade de viagem feita, assim economizando energia. O trabalho em caso pode se tornar popular, especialmente para empregados temporários com crianças. O escritório e a escola tradicionais irão desaparecer. Lojas serão substituídas por catálogos para pedidos através de correio eletrônico. As cidades podem se dispersar, pois as facilidades de comunicação de alta qualidade tendem a reduzir a necessidade de proximidade física. A revolução da informação pode mudar a sociedade, muito mais que a revolução industrial o fez.

Distâncias envolvidas

Na Fig. 11.1 tem-se a classificação de sistemas processadores múltiplos arranjados por tamanho físico. No topo estão as **máquinas de fluxo de dados**, computadores altamente paralelos com muitas unidades funcionais todas trabalhando no mesmo programa. Logo abaixo, vem os **multiprocessadores**, sistemas que se comunicam via memória compartilhada. Além dos multiprocessadores estão as verdadeiras redes, computadores que se comunicam pela troca de mensagens. Finalmente, a ligação de duas ou mais redes é chamada de **inter-networking**.

Distancia entre processadores	Processadores no mesmo	
0,1 m	**Circuito impresso**	**Máquina de fluxo de dados**
1 m	**Sistema**	**Multiprocessador**
10 m	**Sala**	**Rede Local**
100 m	**Prédio**	
1 km	**Campus**	
10 km	**Cidade**	**Rede longa distância**
100 km	**País**	
1 000 km	**Continente**	**Interligação de redes de longa distancia**
10 000 km	**Planeta**	

Fig. 11.1. Classificação das interligações por escala.

1.4. Parâmetros da rede

Rede é um conjunto de nós interligados por links, através de vários caminhos e critérios diferentes.

Também devem ser bem definidos os serviços, funções e protocolos da rede.

Base de dados

Base de dados (database) é uma coleção de dados com uma dada estrutura para aceitar, armazenar e fornecer, quando solicitado, dados para vários usuários. Base de dados é uma coleção de dados inter-relacionados organizados de acordo com um esquema, para servir uma ou mais aplicação. A base de dados é uma coleção de dados fundamental para um sistema ou uma empresa.

Bastão (token)

Em uma rede local, o bastão é o símbolo de autoridade passado sucessivamente de uma estação de dados para outra, para indicar temporariamente qual a estação que controla o meio de transmissão. Cada estação de dados tem uma oportunidade de adquirir e usar o bastão para controlar o meio.

Um bastão é um mensagem particular que significa permissão para transmitir.

Na rede com configuração anel e de barramento, há a passagem de bastão de uma estação para outra e o respectivo controle de acesso do bastão. Por exemplo, em uma rede anel com bastão, a passagem de bastão significa que

1. um nó captura um bastão
2. insere uma mensagem, endereço e informação de controle
3. muda o padrão de bit do bastão para uma referência (frame)
4. transmite a referencia
5. remove a referência do anel quando ele completa o circuito
6. gera outro bastão
7. transmite o bastão no anel onde ele possa ser capturado pelo próximo nó que está pronto para transmitir.

Camada (layer)

Na rede, um grupo de serviços que completo de um ponto de vista conceitual, que está fora de um conjunto de grupos arranjados hierarquicamente e que se estende através de todo o sistema conforme a arquitetura da rede.

No modelo OSI, um dos sete grupos conceitualmente completos e arranjados hierarquicamente, incluindo serviços, funções e protocolos e que estendem por todos sistemas abertos.

Dado

Dado é uma representação reinterpretável da informação (fato ou instrução) em um modo formal, conveniente para comunicação, interpretação ou processamento. A operação dos dados pode ser feita de modo manual ou automático. Os dados incluem: constante, variável, matriz e conjunto de caracteres (string). Os dados podem ser absoluto ou relativo, alfanumérico ou numérico, analógico ou digital, contínuo ou discreto, entrada ou saída.

O dado contem informação.

Host

Em uma rede de computadores, um computador que usualmente faz a função de controle da rede e fornece serviços ao usuário final, como computação e acesso à base de dados. É também chamado de computador mestre ou de controle.

Em TCP/IP, qualquer sistema que tenha, no mínimo, um endereço associado a ele.

Link

Link é uma ligação, conexão entre dois pontos, nós ou dispositivos. Link é uma linha de comunicação física. Geralmente um link é constituído de dois condutores: um para enviar e outro para receber, fornecendo assim uma comunicação duplex.

O link pode ser físico ou lógico. O link lógico é o modo pelo qual um link físico está relacionado com as transações e terminais que podem ser usados pelo meio físico. O meio físico é a conexão por fio ou cabo entre dois sistemas.

Nó

Ponto da rede em que uma ou mais unidades funcionais ligam circuitos de canais ou de dados. Na topologia da rede, o ponto em um fim de uma malha. Nó é a

uma junção comum a dois ou mais links. Entre dois nós há um caminho ou um link.

O nó pode ser qualquer unidade física, como processador, computador, controlador de comunicação, console de operação ou de engenharia ou terminal.

O nó da rede deve ser identificado por um único nome (string).

Prioridade de mensagens

No chão de fábrica, o controle e os status, quando feitos na mesma rede, devem reconhecer a maior prioridade da mensagem de controle.

Ruído

A quantidade de ruído presente na rede pode ser grande, mas mesmo assim ela deve operar satisfatoriamente. A interface física deve ter um alto grau de rejeição de ruído e o protocolo deve ser robusto para permitir fácil recuperação de erros de dados.

Tempo de resposta

A LAN em uma situação industrial deve ter um tempo de resposta máximo garantido, pois a maioria trabalha em tempo real. As mensagens urgentes precisam ser transmitidas dentro de determinado tempo.

1.5. Arquitetura da Rede

A arquitetura da rede é sua estrutura lógica e seus princípios de operação (serviços, funções e protocolos). Há vários modos de se interligar os nós ou dispositivos de uma rede, tais como, aqueles com regras definidas, como:

1. ponto a ponto
2. estrela
3. anel
4. malha
5. arvore
6. barramento
7. irregular

Comunicação ponto a ponto

A comunicação mais simples consiste de ligação de dados *ponto a ponto*. Por exemplo, um computador se comunica com a impressora através de uma porta paralela e com o mouse através de uma porta serial. Embora sejam equipamentos totalmente diferentes, eles podem ser interligados e se comunicarem entre si.

Na configuração de rede ponto a ponto (*peer to peer*), cada ponto ou nó está ligados a todos os outros pontos ou nós. Por exemplo, quando se tem quatro nós interligados ponto a ponto, cada um está ligado aos outros três, por três meios físicos. Esta configuração é chamada *não integrada*.

Na comunicação ponto a ponto, cada nó tem o mesmo status e cada um pode começar a conversação. Nenhum nó é mestre ou escravo e todos os nós tem a mesma oportunidade para transmitir.

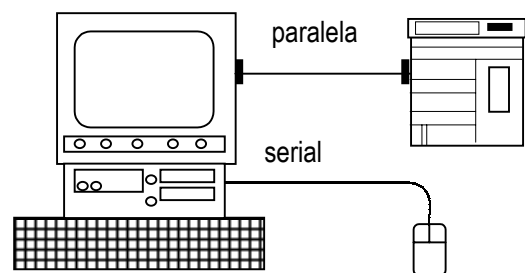



Fig. 11.2. Comunicação ponto a ponto

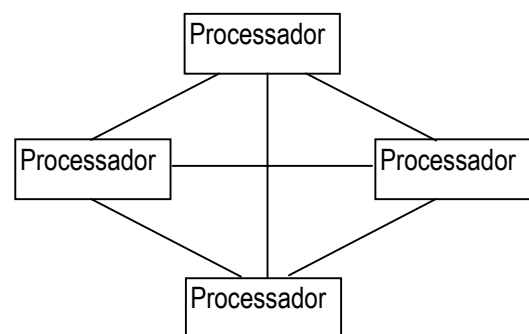



Fig. 11.3. Configuração ponto a ponto

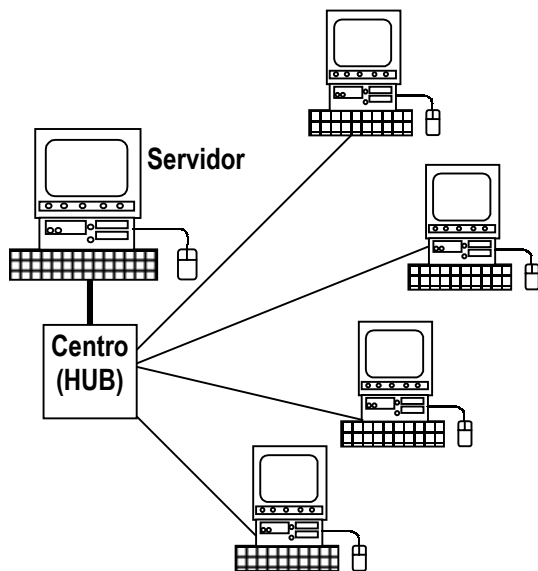



Fig. 11.4. Topologia estrela

Estrela (star)

A topologia estrela (star) possui vários computadores ligados a um computador central, em que cada nó troca dados diretamente com o nó central. A topologia estrela é também chamada de *radial* ou *centralizada*.

É uma rede pouco flexível e não pode crescer indefinidamente.

Anel e Malha

No caso do anel e malha, o mesmo fio retorna ao mestre. Na rede anel, cada nó exatamente dois caminhos entre quaisquer dois nós.

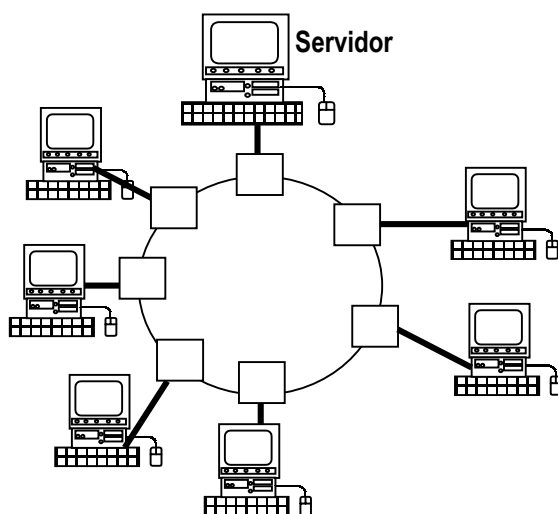



Fig. 11.5. Topologia anel (ring)

As tecnologias de anel (ring), malha (loop) e barramento (bus) foram desenvolvidas para facilitar a colocação e retirada de nós. A fiação também é mais fácil, porque um único cabo é roteado para todos os nós. Estas configurações podem parecer iguais, à primeira vista, mas são diferentes. Estas topologias de rede apresentam muitas desvantagens, tais como:

1. Um nó é mestre, com a tarefa de determinar que estação pode transmitir em dado momento.
2. Quando o número de nós cresce, a comunicação fica lenta, pois todas as mensagens tem que passar pelo mestre.
3. A confiabilidade é pequena. Se o mestre falha, perde-se tudo.

Barramento

A topologia de barramento (bus ou highway) é também chamada de multidrop ou multiponto.

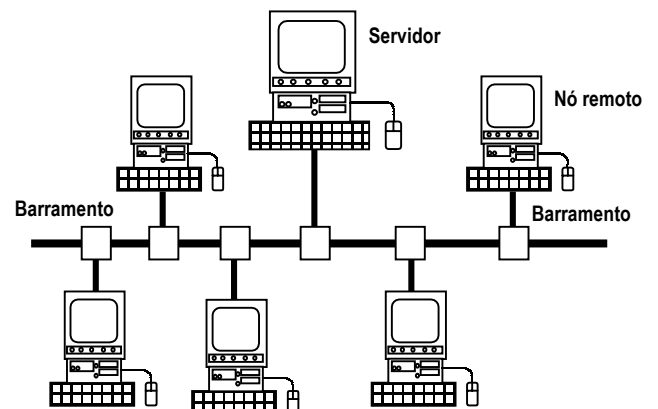



Fig. 11.6. Topologia de barramento (bus) ou multi-drop

Arvore

Na rede árvore, há exatamente um caminho entre quaisquer dois nós. Nesta topologia, há uma hierarquia de funções: os de cima são mais genéricos e possuem funções corporativas e os de baixo são mais técnicos e possuem funções técnicas de regulação e controle.

As redes completas e irregulares são aquelas obtidas da combinação de vários tipos, em que não nenhuma regra clara de formação.

Rede por satélite

As redes podem ainda ser configuradas através de ondas de rádio ou de televisão, quando as ligações não são feitas por meio físico, como fios ou cabos.

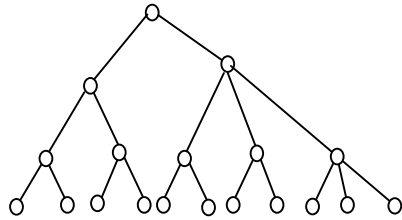



Fig. 11.7. Configuração tipo árvore

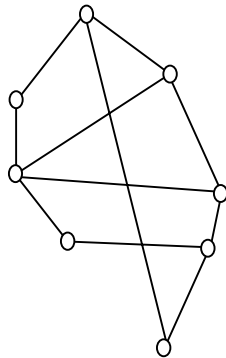



Fig. 11.8. Irregular

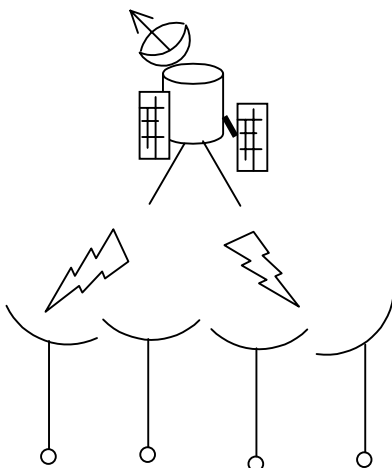



Fig. 11.9. Rede por satélite

1.7. Modelo de Referência OSI

O conjunto de camadas, interfaces e protocolos é chamado de **arquitetura da rede**. A especificação da arquitetura deve conter informação suficiente para permitir um implementador escrever o programa ou construir o equipamento para cada camada, de modo que eles obedeçam corretamente o protocolo apropriado. Nem os detalhes da implementação e nem a especificação das interfaces são parte da arquitetura por que eles estão escondidos dentro das máquinas e não são visíveis de fora. Não é nem necessário que as interfaces de todas as máquinas em uma rede sejam a mesma, desde que cada máquina possa usar corretamente todos os protocolos.

O modelo clássico das camadas de uma rede é mostrado na Fig.10.10. Este modelo é baseado na proposta da International Standards Organization (ISO), como um primeiro passo na direção da padronização internacional dos vários protocolos. O modelo é chamado de Modelo de Referência ISO OSI (*Open Systems Interconnection*), pois ele trata dos sistemas abertos de conexão, ou seja, sistemas que são abertos para comunicação com outros sistemas. Por comodidade, é chamado de modelo OSI.

O sistema OSI tem sete camadas:

1. Uma camada deve ser criada onde um diferente nível de abstração é necessário.
2. Cada camada deve fazer uma função bem definida
3. A função de cada camada deve ser escolhida tendo em vista os protocolos padrão definidos internacionalmente.
4. Os limites das camadas devem ser escolhidos para minimizar o fluxo de informação através das interfaces.
5. O número de camadas deve ser grande suficiente para distinguir que as funções necessárias não sejam lançadas juntas na mesma camada fora da necessidade e pequeno suficiente para a arquitetura não se tornar grande demais.

O modelo OSI em si não é uma arquitetura de rede porque ela não especifica os serviços e protocolos exatos a serem usados em cada camada. Ela simplesmente diz o que cada camada faz. Porém, ISO tem também produzido normas para todas as camadas, embora elas não façam parte deste modelo. Cada uma delas foi publicada como uma norma internacional separada.

Camada física

A **camada física** está relacionada com os bits não processados sobre um canal de comunicação. O projeto deve garantir que quando um lado envia um bit 1, ele é recebido pelo outro lado como um bit 1 e não como um bit 0. As questões típicas que aparecem são:

1. quantos volts devem ser usados para representar o bit 1 e quantos para o bit 0
2. quantos microssegundos um bit dura
3. qual o tipo da transmissão (simplex, semiduplex, duplex)
4. como é estabelecida a conexão inicial
5. como é desligada a conexão quando os dois lados terminam a comunicação
6. quantos pinos o conector do circuito deve ter
7. uso de cada pino do conecto.

A camada física pode ser considerada propriamente como dentro do domínio do engenheiro eletricista.

Camada do Link de Dados

A principal tarefa da **camada de link** de dados é tomar uma facilidade de transmissão e transformá-la em uma linha que seja livre de erros de transmissão para a camada da rede. Ela desempenha esta tarefa

1. fazendo o transmissor quebrar os dados de entrada em quadros de dados (*data frames*), tipicamente algumas centenas de bytes
2. transmitir os quadros de dados seqüencialmente
3. processar os quadros de conhecimento enviados de volta pelo receptor.

Como a camada física simplesmente aceita e transmite um jato de bits sem qualquer cuidado com o significado ou estrutura, é função da camada de link de dados criar e reconhecer os limites do quadro. Isto é conseguido anexando padrões de bit especiais para o início e fim do quadro. Se estes padrões de bit podem acidentalmente ocorrer nos dados, deve ter cuidado especial para evitar confusão.

Um ruído aparecido na linha pode destruir um quadro completamente. Neste caso, o programa da camada de link de dados na máquina fonte deve retransmitir o quadro. Porém, transmissões múltiplas do mesmo quadro introduz a possibilidade de duplicar quadros. Um quadro duplicado poderia ser enviado, por exemplo, se o quadro de conhecimento do receptor enviado de volta para o transmissor fosse destruído. É tarefa da camada de link de dados resolver os problemas causados pelos quadros danificados, perdidos e duplicados. A camada de link de dados pode oferecer vários serviços diferentes para a camada da rede, cada um com qualidade e preço diferente.

Outro tema que aparece na camada de link de dados e na maioria das camadas superiores, é como evitar que um transmissor rápido inunde de dados um receptor lento. Algum mecanismo de regulação do tráfego deve ser empregado para permitir ao transmissor conhecer o espaço livre do receptor neste momento Geralmente, por conveniência, esta regulação de fluxo e a manipulação de erros são integradas.

Se a linha pode ser usada para transmitir dados nos dois sentidos, isto introduz uma nova complicação que o programa da camada de link de dados deve resolver. O problema é que os quadros de conhecimento para o tráfego A para B compete com o uso da linha com quadros de dados de B para A

Camada de controle da rede (network)

A camada de controle da rede está relacionada com a regulação da operação da sub-rede. Um tema de projeto chave é determinar quantas mensagens (packets) são roteadas da fonte para o destino. As rotas devem ser baseadas em tabelas estáticas que são fiadas na rede e

raramente alteradas. Elas podem também ser determinadas no início de cada conversação, por exemplo uma sessão terminal. Finalmente, elas podem ser altamente dinâmicas, sendo determinada uma nova, para cada mensagem, para refletir a carga corrente da rede.

Se muitas mensagens estão presentes na sub-rede ao mesmo tempo, eles irão voltar, formando gargalos. O controle de tal congestionamento pertence à camada da rede.

Como os operadores da sub-rede podem bem esperar remuneração por seus esforços, há geralmente uma função de contabilidade embutida na camada da rede. Finalmente, o programa deve contar quantas mensagens ou caracteres ou bits estão sendo enviados por cada usuário, para produzir a informação de cobrança. Quando uma mensagem cruza uma fronteira nacional, com diferentes taxas de cada lado, a conta pode se tornar complicada.

Quando uma mensagem deve viajar de uma rede para outra até chegar ao seu destino, muitos problemas podem aparecer:

1. o endereço usado pelo segunda rede pode ser diferente do primeiro
2. o segundo pode não aceitar a mensagem completa porque ela é muito grande
3. os protocolos podem ser diferentes.

É função da camada de controle da rede superar todos os problemas para permitir a interligação de redes heterogêneos.

Em redes de broadcast, o problema de rota é simples, de modo que a camada de controle da rede é geralmente fina ou nem existe.

Camada de transporte

As funções básicas da **camada de transporte** são as de

1. aceitar os dados de uma camada de sessão,
2. dividi-los em unidades menores,
3. passá-las para a camada de controle e
4. garantir que os pedaços chegarão corretamente no outro lado.
5. Tudo isso deve ser feito eficientemente e de um modo que isola a camada da sessão das inevitáveis mudanças na tecnologia do equipamento.

Sob condições normais, a camada de transporte cria uma ligação de rede diferente para cada ligação de transporte requerida pela camada de sessão. Se a ligação de transporte requer uma grande quantidade de trabalho, a camada de transporte poderia criar ligações múltiplas de redes, dividindo os dados entre as ligações da rede para melhorar a quantidade de trabalho. Por outro lado, se criar ou manter uma ligação de rede é caro, a camada de transporte poderia multiplexar várias ligações de transporte em uma mesma conexão de rede para reduzir o custo. Em todos os casos, a camada de transporte é necessária para tornar a multiplexação transparente para a camada de sessão.

A camada de transporte também determina que tipo de serviço deve ser fornecido à camada de sessão e finalmente, os usuários da rede. O tipo mais popular de conexão de transporte é uma canal ponto a ponto, livre de erro, que entrega mensagens na ordem em que elas são enviadas. Porém, outros tipos possíveis de serviço de transporte são o transporte de mensagens isoladas com nenhuma garantia acerca da ordem de entrega e o broadcasting de mensagens para vários destinos. O tipo de serviço é determinado quando a ligação é estabelecida

A camada de transporte é uma verdadeira camada fonte-para-destino ou camada terminal-para-terminal. Um programa da máquina fonte mantém uma conversação com um programa similar na máquina destino, usando os cabeçalhos de mensagem e mensagens de controle. Nas camadas mais baixas, os protocolos estão entre cada máquina e seus vizinhos imediatos e não pelas máquinas fonte e destino finais, que podem estar separadas por vários IMPs. A diferença entre as camadas 1 até 3, que são encadeadas, e camadas 4 e 7, que são ponto a ponto, é ilustrada na Fig. 11.11.

Muitos hosts são multiprogramados, o que implica que várias ligações estão chegando e saindo de cada host. Há necessidade de algum modo de dizer que

mensagem pertence a que conexão. O cabeçalho de transporte é um local onde está informação pode ser colocada.

Para multiplexar vários conjuntos de mensagens em um canal, a camada de transporte deve cuidar de estabelecer e deletar conexões através da rede. Isto requer algum tipo de mecanismo de identificação, de modo que um processo em uma máquina tenha um modo de descrever com quem ela quer conversar. Pode haver também um mecanismo para regular o fluxo de informação, de modo que o host rápido não possa afogar um host lento. O controle de fluxo entre hosts é diferente do controle de fluxo entre IMPS, embora os princípios sejam similares.

Camada de Sessão

A camada de sessão permite a usuários de diferentes máquinas estabeleçam **sessões** entre elas. Uma sessão permite transporte ordinário de dados, como faz a camada de transporte, mas ele também fornece alguns serviços úteis melhorados em algumas aplicações. Uma sessão poderia ser usada para permitir a um usuário se ligar a um sistema remoto com compartilhamento de tempo ou transferir um arquivo entre duas máquinas.

Um dos serviços da camada de sessão é gerenciar o controle de diálogo. As sessões podem permitir o tráfego ir aos dois sentidos, ao mesmo tempo ou em apenas um sentido, simultaneamente. Se o tráfego pode somente ir em um sentido simultaneamente, análogo a uma estrada de ferro, a camada de sessão pode ajudar a manter o caminho da vez livre.

Um serviço de sessão relacionado é o **gerenciamento de passe** (*token*). Para alguns protocolos, é essencial que os dois lados não tentem a mesma operação, ao mesmo tempo. Para gerenciar estas atividades, a camada de sessão fornece passes que podem ser trocados. Somente o lado que está com o passe pode fazer a operação crítica.

Outro serviço da sessão é a **sincronização**. Seja os problemas que poderiam ocorrer quando se tentasse fazer uma transferência de arquivos de duas horas entre duas máquinas em uma rede com um tempo médio de 1 hora entre quedas. Depois que cada transferência tenha sido abortada, a transferência total deveria recomeçar de novo e iria falhar de novo, quando ocorresse nova queda do sistema. Para eliminar este problema, a camada de sessão fornece um modo para inserir pontos de check (checkpoints) na fluxo de dados, de modo que após uma queda, somente os dados após o último ponto checado devem ser repetidos.

Camada de Apresentação

A **camada de apresentação** executa certas funções que são requisitas freqüentemente para garantir que foi achada uma solução geral para elas, em vez de deixar que cada usuário resolva os problemas. Em particular, diferente de todas as camadas mais baixas, que são interessadas apenas em mover bits de modo confiável daqui para ali, a camada de apresentação está relacionada com a sintaxe e semântica da informação transmitida.

Um exemplo típico de um serviço de apresentação é a codificação de dados de modo padrão consensado. Muitos programas do usuário não trocam strings de bit binário aleatório. Eles trocam coisas tais como nomes de pessoas, datas, valores em dinheiro e pedidos de compra. Estes itens são representados como strings de caractere, inteiros, números de ponto flutuante e estruturas de dados compostas de vários itens mais simples. Computadores diferentes podem ter códigos diferentes para representar strings de caractere (p. ex., ASCII, EBCDIC), inteiros (p. ex., complemento de 1 ou complemento de 2). Para tornar possível computadores diferentes se comunicarem entre si, as estruturas de dados a serem trocadas podem ser definidas em um modo abstrato, ao lado de uma codificação padrão a ser usada *sobre o fio*. O trabalho de gerenciar estas estruturas abstratas de dados e convertê-las da representação usada dentro do computador para uma representação padrão da rede é manipulada pela camada de apresentação.

Nr.	Nome	Usos e aplicação
1	Física	Especificações elétricas, mecânicas e de invólucro dos circuitos. Controle funcional de circuitos de dados
2	Link	Transmissão de dados em rede local – esquema da mensagem, manutenção e liberação dos dados, erro e controle do fluxo.
3	Rede	Roteamento, chaveamento, sequenciamento, bloqueio, recuperação de erro e controle do fluxo. Endereçamento do sistema e roteamento de área distante.
4	Transporte	Transferência transparente de dados, controle terminal a terminal, multiplexagem e mapeamento. Fornece funções para movimento real de dados entre elementos da rede.
5	Sessão	Gerenciamento de comunicações e transações. Coordenação do diálogo e sincronização. Administração e controle de sessões entre duas entidades.
6	Apresentação	Transformação de vários tipos de informação tais como transferências de arquivo, interpretação de dados, formatação, e transformação de códigos.
7	Aplicação	Elementos de serviço de aplicação comum, serviço de mensagem de manufatura, transferência de arquivo, gerenciamento da rede, serviço do diretório.

Notas:

A camada sessão fornece funções e serviços que podem ser usados para estabelecer e manter conexões entre elementos da sessão, para manter um diálogo de pedidos e respostas entre os elementos de uma sessão e para terminar a sessão.

A camada apresentação fornece as funções, procedimentos, serviços e protocolo selecionados pela camada aplicação. As funções podem incluir a definição de dados e controle de dados de entrada, mudança de dados e indicação de dados. Esta camada compreende: serviços de aplicação comuns, serviços de aplicação específicos e protocolos de gerenciamento requeridos para coordenar o gerenciamento de redes OSI em conjunção com capacidades de gerenciamento que são embutidos dentro de cada protocolo da camada OSI.

A camada aplicação é diretamente acessível e visível ao usuário e explicitamente definida pelo usuário. Esta camada fornece todas as funções e serviços necessários para executar programas e processos do usuário, mudar dados. Para a maior parte, o usuário interage com a camada de aplicação, que compreende as linguagens, ferramentas e sistemas de gerenciamento de base de dados e aplicações concorrentes de multi-usuário. Estas funções se baseiam nas camadas mais baixas para fazer os detalhes de gerenciamento de comunicações e rede. Tradicionalmente, os vendedores de rede tem fornecido um sistema operacional proprietário para manipular funções nas camadas mais elevadas do modelo OSI. Estas características únicas tem sido a fonte de dificuldades de interconexão.

A camada de apresentação está também relacionada com outros aspectos da representação da informação. Por exemplo, compressão de dados pode ser usada aqui para reduzir o numero de bits que devem ser transmitido e criptografia é freqüentemente requerida para privacidade e autenticação.

Camada de Aplicação

A camada de aplicação contem uma variedade de protocolos que são comumente necessários. Por exemplo, há centenas de tipos incompatíveis de terminais no mundo. Seja a situação difícil de um editor de tela que quer trabalhar em uma rede com muitos tipos diferentes de terminais, cada um com diferentes configurações de tela, seqüências de escape para inserir e deletar texto, mover o cursor.

Um modo de resolver este problema é definir um terminal virtual da rede abstrato que editores e outros programas possam ser escritos para tratar deles. Para manipular cada tipo de terminal, um pedaço do programa deve ser escrito para mapear as funções do terminal virtual da rede no terminal real. Por exemplo, quando o editor move o cursor do terminal virtual para o canto superior esquerdo, este programa deve fazer a seqüência correta de comandos para o terminal real para levar seu cursor também para lá. Todos os programas de terminal virtual estão na camada de aplicação.

Outra aplicação da camada de aplicação é a transferência de arquivos. Diferentes sistemas de arquivos têm diferentes convenções de nomear arquivos, diferentes modos de representar linhas de texto. Transferir arquivos entre dois sistemas diferentes requer manipular estas e outras incompatibilidades. Este trabalho, também, pertence à camada de aplicação, bem como correio eletrônico, entrada remota de trabalho, bloqueio de diretório e várias outras facilidades específicas e gerais.

2. Comunicação de dados

2.1. Introdução

O objetivo da comunicação é transferir a informação de um ponto para outro ou de um sistema para outro. Em controle de processo, esta informação é chamada de dado do processo ou simplesmente, dado.

Um entendimento da comunicação de dados é essencial para a aplicação apropriada dos instrumentos digitais, particularmente do controlador lógico programável para controle de processo ou aquisição de dados.

2.2. Tipos de sinais

O dados são transmitidos através de dois tipos de sinais:

1. banda base
2. banda larga.

Banda base

Em um sistema de banda base, a transmissão de dados consiste de uma faixa de sinais enviada no meio de transmissão sem ser transladada em freqüência. Uma chamada telefônica é um exemplo de transmissão de banda base. Um sinal de voz humana na faixa de 300 a 3000 Hz é transmitida através da linha telefônica na faixa de 300 a 3000 Hz. Em um sistema de banda base há somente um conjunto de sinais no meio em um determinado momento.

Banda larga

Uma transmissão à banda larga consiste de múltiplos conjuntos de sinais. Cada conjunto de sinais é convertido para uma faixa de freqüência que não interfere com outros sinais no meio. A televisão por cabo é um exemplo de transmissão por banda larga.

Três componentes básicos são requeridos em qualquer sistema de comunicação de dados:

1. transmissor que gera a informação
2. receptor que detecta os dados
3. meio para transportar os dados.

O meio pode ser dividido em mais de um canal. Um canal é definido como o caminho através do meio que pode transportar a informação em somente uma direção em um determinado momento.

2.3. Meio físico

O meio físico de transmissão cai em três categorias genéricas:

1. par trançado
2. cabo coaxial
3. cabo de fibra óptica.

Par trançado

O par trançado consiste de dois fios condutores elétricos, cada um coberto por isolante. Os dois fios são trançados juntos para garantir que eles estão igualmente expostos aos mesmos sinais de interferência no ambiente. Como os fios transportam corrente em sentidos opostas, a interferência elétrica tende a se cancelar no cabo. O par trançado é o cabo mais comum usado em sistemas de controlador lógico programável. Ele é o meio mais barato e fornece adequada imunidade à interferência eletromagnética.

Cabo coaxial

O cabo coaxial consiste de um fio condutor elétrico envolvido por material isolante elétrico e por uma blindagem metálica condutora rígida, em forma de tubo. Em muitos casos, o cabo inteiro é coberto por um isolante. O condutor central e o tubo circular externo são coaxiais, ou seja, ambos compartilham o mesmo eixo central. O cabo coaxial é usado nos sistemas de comunicação.

Os cabos coaxiais são usados em aplicações de automação de processo onde há grandes distâncias envolvidas para melhorar a imunidade aos ruídos eletromagnéticos.

Cabo de fibra óptica

O cabo de fibra óptica consiste de pequenas fibras de vidro ou plástico. Em uma extremidade, pulsos elétricos são convertidos em luz por um foto-diodo e enviados através do cabo óptico de fibra. Na outra extremidade do cabo, um detector de luz converte os pulsos de luz de volta para pulsos elétricos. Os sinais de luz podem viajar somente em uma direção, de modo que uma transmissão de dois sentidos requer dois cabos de fibra separados. Um cabo de fibra óptica tem normalmente o mesmo diâmetro que o cabo de par trançado e é imune ao ruído elétrico e não oferece nenhum perigo adicional quando usado em áreas classificadas.

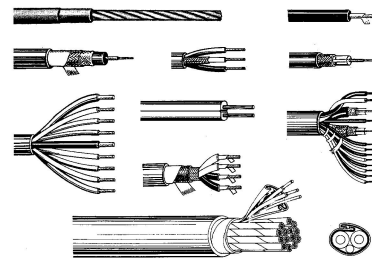



Fig. 11.12. Diferentes cabos de ligação

O custo do cabo de fibra óptica é da mesma ordem de grandeza que o do cabo coaxial, porém, os conectores são muito caros. Uma desvantagem dos cabos de fibra óptica é ainda a falta de normas industriais.

2.4. Número de Canais

A comunicação pode também ser descrita pelo número de canais usados para efetuar o fluxo de informação. Os três métodos mais comuns de transmissão de dados são:

1. simplex
2. meio duplex
3. totalmente duplex

Comunicação Simplex

Na comunicação simplex, um único canal é usado e há somente um sentido de comunicação, do transmissor para o receptor. O receptor apenas recebe e não pode transmitir e o transmissor apenas transmite e não pode receber.

Na transmissão simplex não é possível enviar sinais de erro ou de controle do receptor, porque o transmissor e o receptor são dedicados a somente uma função. Um exemplo típico de comunicação simplex é a transmissão de rádio. Outro exemplo industrial, é um sistema de aquisição de dados, onde os dados do processo são enviados para um computador, em um único sentido.

Comunicação Meio Duplex

A comunicação em dois sentidos permite o receptor verificar que os dados foram recebidos. Um tipo de comunicação

de dois sentidos é chamado de meio duplex. Na comunicação meio duplex, um único canal é usado e a comunicação é feita nos dois sentidos, porém, somente em um sentido em um determinado tempo. Nesta configuração, o receptor e o transmissor alternam as funções, de modo que a comunicação ocorre em um sentido, em um tempo e em um único canal. Exemplo de comunicação semiduplex é o rádio walkie-talkie: apertando um botão, se fala e não se escuta; sem apertar o botão, escuta-se e não se fala.

Comunicação Totalmente Duplex

A comunicação em dois sentidos onde os dados podem fluir em ambas as direções ao mesmo tempo é chamada de comunicação totalmente duplex. Neste caso, há dois canais, de modo que a informação pode fluir em ambos os sentidos simultaneamente. Exemplo de comunicação totalmente duplex é o telefone: onde se pode falar e escutar simultaneamente.

2.5. Movimento de Dados

A transmissão envolve o movimento de dados entre um receptor e um transmissor. Com relação ao número de bits envidados por vez, a transmissão pode ser:

1. paralela
2. serial.

Transmissão Paralela

Na transmissão paralela, todos os bits são transmitidos ao mesmo tempo e cada bit de informação requer um único canal. Por exemplo, se é transmitido um caractere ASCII de 8 bits, são necessários oito canais. O termo *paralelo* se refere à posição dos bits do caractere e o fato que os caracteres são transferidos um após o outro. O uso de vários canais resulta em uma alta taxa de transferência de dados.

Há um problema com o atraso do sincronismo do bit na transferência paralela. Sincronismo é o processo de fazer duas ou mais atividades acontecerem à mesma velocidade e tempo. Quando se envia um conjunto de caracteres em um cabo paralelo longo, a diferença nas impedâncias nos fios do cabo pode causar a perda do sincronismo.

Para resolver este problema, a distância entre o receptor e o transmissor deve ser mantida pequena para evitar erros de transferência causados pelo atraso do sincronismo. Por este motivo, a transmissão paralela é usada somente em pequenas distâncias, onde se deseja uma alta velocidade de transmissão. Por exemplo, a transferência de dados em um sistema de microcomputador é paralela. Porém, em sistemas de controle de processo a transferência de dados entre os sistemas (por exemplo, entre PC e CLP) é normalmente serial.

Transmissão Serial

A interface serial é a menos complicada porque ela requer apenas um fio para transportar todos os dados em somente uma direção ou dois fios para um fluxo bi-direcional. As interfaces seriais, porém, requerem circuitos lógicos adicionais para converter os dados em paralelo-serial, por que a maioria dos sistemas requerem transmissão paralela.

Como os links seriais tem baixo custo e grande facilidade de instalação, eles se tornaram padrão em vários protocolos usados. Protocolo é uma norma de controle de transmissão de dados.

Na transmissão serial, os bits do caractere codificado são transmitidos um após o outro em um único canal. A transmissão toma a forma de um jato de bits que o receptor deve juntar em caracteres (normalmente 8 bits) usando CIs específicos.

O controle da velocidade de transmissão é critico na transferência serial de dados. A unidade de medição de velocidade de dados serial é bit/s ou bps; já chamada de baund.

Embora diferente, é necessário um sincronismo na transferência serial de dados. Um circuito de *timing* no transmissor transmite os bits em intervalos fixos determinados pelas taxas de comunicação selecionadas. As taxas típicas são: 110, 300, 600, 1200, 2400, 4800 e 9600 pbs. O transmissor deve enviar os bits na mesma velocidade que o receptor está ajustado para recebe-los. Assim, se um transmissor está enviando bits à velocidade de 4800 bps, o receptor

deve estar ajustado para uma velocidade de comunicação de 4800 bps.

Usa-se um sincronismo de caractere para determinar que 8 bits consecutivos representam um caractere. O receptor deve reconhecer o primeiro bit de dados e contar os bits até que o caractere (byte) seja completo.

2.6. Tempo e transmissão

Com relação ao tempo, a transmissão pode ser síncrona e assíncrona

Transmissão assíncrona

Assíncrono é algo pertencente a dois ou mais processos que não depende da ocorrência de eventos específicos, como sinais de tempo comum. Algo sem relação regular com o tempo, inesperado, imprevisível com relação a execução das instruções do programa.

Transmissão assíncrona de dados é aquela em que um caractere ou bloco de caracteres pode começar em qualquer tempo, mas em que os bits que representam o caractere ou bloco tem igual tempo de duração. É contrário de transmissão síncrona.

Transmissão síncrona

Síncrono é algo pertencente a dois ou mais processos que depende da ocorrência de eventos específicos, como sinais de tempo comum. Algo com relação regular com o tempo, esperado, previsível com relação a execução das instruções do programa. É um modo de operação em que cada ação é iniciada por um relógio.

Transmissão assíncrona de dados é aquela em que o tempo de ocorrência de cada sinal representando um bit está relacionado com uma base de tempo fixa. Na comunicação de dados, um método de transmissão em que a remessa e recebimento dos caracteres são controlados por sinais de tempo. Na transmissão síncrona, transmissor e receptor operam na mesma freqüência e são mantidos em uma relação de fase apropriada. É contrário de transmissão assíncrona.

2.7. Multiplexagem de Sinal

Uma única linha pode ser usada para transportar vários sinais, usando a multiplexagem (ou multiplexação) do sinal. Para entender multiplexagem, deve-se primeiro definir o termo *largura de faixa*. A largura de faixa descreve a capacidade de transporte de sinal de um canal de comunicação. A largura de faixa é definida como a diferença em ciclos por segundo entre a freqüência mais elevada e a mais baixa que um canal pode manipular sem perda de sinal.

A multiplexagem permite uma linha servir a mais de um receptor, criando divisões (slots) na linha. O equipamento usado para obter a multiplexagem é chamado de multiplexador (MUX).

Os métodos usados para multiplexar sinais são:

1. divisão de freqüência
2. divisão de tempo
3. estatístico.

Multiplexagem por divisão de freqüência

Na multiplexagem por divisão de freqüência cada canal possui sua própria faixa de freqüência individual. A divisão de freqüência é normalmente usada para combinar um grupo de fontes de baixa velocidade em um único canal de voz.

Multiplexagem por divisão de tempo

A multiplexagem por divisão de tempo usa períodos de tempo para alocar o espaço do canal e a largura de faixa disponível. Neste tipo de multiplexagem, nenhum outro canal pode usar a divisão de tempo, de modo que há alguma perda de largura de banda quando uma estação não estiver transmitindo dados em sua divisão de tempo. Porém, uma linha de transmissão pode suportar muitos canais de dados. É normalmente usada onde há necessidade de combinar um número de transmissões de baixa velocidade em uma única linha de alta velocidade.

Multiplexagem por estatística

A multiplexagem estática é uma melhoria da multiplexagem da divisão de tempo projetada para reduzir o desperdício da largura de faixa quando os dados estiverem sendo transmitidos por uma estação. Este processo de melhoria é chamada de concentração de dados. A multiplexagem estatística é usada onde um grande número de terminais de entrada de

dados requer somente uma rápida ou ocasional transferência de dados. Se o uso dos terminais se tornar intenso, a operação demora e este método fica prejudicado.

3.Protocolos e interfaces

3.1. Conceitos

Sinal padrão

Em uma malha de medição e controle de processo, os instrumentos necessitam se comunicar entre si. Quando o sinal é analógico, esta compatibilidade é conseguida com a padronização do **sinal**:

pneumático em 20 a 100 kPa (3 a 15 psi)

eletrônico (4 a 20 mA cc).

O sinal analógico contem apenas uma informação, que está na amplitude do sinal proporcional ao valor da medição. Quando o sinal eletrônico vale 4 mA, a variável está em 0%; quando o sinal vale 20 mA, a variável está em 100%.

Dois instrumentos analógicos manipulando o mesmo sinal podem ser interligados entre si. Por exemplo, qualquer transmissor eletrônico com saída de 4 a 20 mA cc pode ser ligado diretamente a um controlador eletrônico com entrada de 4 a 20 mA cc.

Interface

Interface é o dispositivo que permite a ligação ou comunicação de dois instrumentos ou equipamentos incompatíveis. Quando os instrumentos são compatíveis, eles podem ser ligados diretamente, sem necessidade de nenhuma interface.

Por exemplo, um instrumento eletrônico pode ser ligado a um instrumento pneumático, através de uma interface, chamada de transdutor corrente para pneumático. Assim, um controlador eletrônico (saída 4 a 20 mA cc) pode enviar o sinal de controle para uma válvula com atuador pneumático, que opera em 20 a 100 kPa. Entre o controlador eletrônico e o atuador pneumático da válvula deve haver um transdutor corrente para pneumático (i/p).

Um instrumento digital pode ser ligado a um analógico, através de um conversor digital para analógico (D/A) e um analógico pode ser ligado e um digital, através de um conversor analógico para digital (A/D).

Protocolo

Na comunicação de dados digitais, as coisas acontecem de modo mais complicado que na comunicação analógica, pois se quer usar a capacidade digital de comunicação de

1. transmitir vários sinais simultaneamente
2. de modo bidirecional,
3. em um único meio (fio trançado, cabo coaxial, cabo de fibra óptica),
4. de modo compartilhado por todos os sinais de informação.

Em vez de sinal, fala-se de **protocolo**. Protocolo é um conjunto de regras semânticas e sintáticas que determina o comportamento de instrumentos funcionais que devem ser interligados para se ter uma comunicação entre eles. Na arquitetura OSI (*Open Systems Interconnection*), protocolo é o conjunto de regras que determina o comportamento de entidades na mesma camada para se comunicarem.

Protocolo aberto e proprietário

Muitos protocolos são proprietários, ou seja, o protocolo foi desenvolvido por determinado fabricante isolado ou em conjunto com outros fabricantes. Somente o fabricante pode legalmente fabricar e usar o equipamento com este protocolo. A não ser que sejam desenvolvidas interfaces especiais, instrumentos com diferentes protocolos não podem ser interligados para uso em uma mesma rede.

A razão mais óbvia para a variedade de protocolos é que eles tem sido projetados para diferentes aplicações em mente e otimizados para características específicas tais como segurança, baixo custo, alto número de dispositivos conectados. Portanto, cada protocolo pode ter vantagens para atender prioridades de uma determinada aplicação. A não ser que um único protocolo se torne padrão (e isso não vai acontecer), é necessário que os fabricantes forneçam interfaces para os diversos protocolos em uso.

Atualmente, é comum o protocolo se tornar aberto, deixando de ser proprietário. É constituída uma fundação independente, aberta, sem fins lucrativos, onde qualquer fabricante pode entrar. Os fabricantes participantes da fundação podem usar livremente a tecnologia associada e a marca correspondente. A fundação cuida de

1. coordenar, promover e suportar a tecnologia em todo o mundo
2. testar e emitir certificados de conformidade,
3. coordenar exibições e atividades promocionais

O protocolo Hart, desenvolvido inicialmente pela Rosemount, se tornou aberto e hoje há uma centena de fabricantes usando este protocolo.

Interface é qualquer forma de dispositivo eletrônico que possibilita a comunicação entre instrumentos ou sistemas incompatíveis. Se dois instrumentos são compatíveis, eles podem ser ligados diretamente, sem qualquer interface. No sistema OSI, as interfaces são o conjunto de regras que determina a comunicação de entidades de camadas diferentes.

Interoperabilidade e intercambiabilidade

Os pontos chave da comunicação entre dois equipamentos digitais são

1. intercambiabilidade
2. interoperabilidade

Intercambiabilidade significa que um transmissor de um fabricante pode ser substituído por um transmissor de outro fabricante sem qualquer reconfiguração do sistema. Isto é desejável para o usuário que quer manter no mínimo o custo dos componentes padrão e quer evitar de fazer retreinamento do seu pessoal de manutenção. Porém, os usuários com necessidades além das características da norma podem ter dificuldade de satisfazer estas exigências com os componentes padrão disponíveis comercialmente.

Interoperabilidade significa que um transmissor de um fabricante pode ser usado para substituir um transmissor de outro fabricante mas com alguma reconfiguração do sistema. Para haver interoperabilidade, o sistema deve ser informado automaticamente do tipo de equipamento que está em uso de modo a se comunicar com o outro com sucesso, havendo necessidade de alguma reconfiguração. Deste modo, a intercambiabilidade vira um subconjunto da interoperabilidade.

A interoperabilidade permite um fabricante competir no mercado na base de características exclusivas para seu produto e do conteúdo do valor agregado ao seu equipamento, em vez de simplesmente do custo inicial do equipamento. Porém, os usuários sabem que isto complica a situação e que se uma característica especial está presente, ela pode ser usada em qualquer estágio e pode deixar os usuários sujeitos ao monopólio do fornecedor.

3.2. Ethernet (CSMA/CD ou IEEE 802.3)

A primeira rede local (LAN), desenvolvida pela Xerox Corp é de banda base, de 10 Mb, que permite múltiplas estações acessarem o meio de transmissão sem uma coordenação a priori, evita a contenção usando detecção da portadora e deferência e resolve a contenção usando detecção de colisão e transmissão. Ou seja, a tecnologia usada é CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision – Acesso Múltiplo de Sensor a Portador com Colisão).

É um sistema baseado em faixa, onde a informação sendo enviada sobre o fio não é modulada.

Computadores da DEC (Digital Equipment Corp.) operando em chão de fábrica no início dos anos 1970 eram ligados através da DECNet. Era uma técnica de passagem de bastão (token pass). Em 1980, com o objetivo de suportar LAN de alta velocidade, DECnet e Ethernet foram usadas juntas para combinar as vantagens de cada rede individual, melhorando principalmente o tempo de resposta.

3.3. Protocolo HART

História

O protocolo HART (**H**ighway **A**ddressable **R**emote **T**ransducer), foi desenvolvido pela Rosemount, em 1986. Em 1990, ele se tornou um protocolo aberto, através da constituição de uma Fundação Hart, que hoje possui mais de uma centena de fabricantes de instrumentos.

Método de operação

O protocolo HART opera usando o princípio de *frequency shift keying* (FSK), que é baseada na Norma de Comunicação Bell 202 (Bell, 1976).

A transmissão de dados tem as seguintes características físicas:

bit 0 = 2200 Hz

bit 1 = 1200 Hz

A taxa de transferência é de 1200 bits/s.

A taxa de transferência para variáveis simples: 2 por segundo.

Segurança dos dados: checking de erro bi dimensional.

Máximo número de dispositivos secundários (slaves) em modo multidrop: 15.

Máximo número de dispositivos principais (masters): 2.

Máximo número de variáveis: 256 por secundário. Máxima distância: típica de 1900 m, dependendo do tipo de cabo.

Fig. 11.14. Logotipo da HART Foundation

As ondas senoidais das duas freqüências são superpostas sobre o sinal analógico padrão de 4 a 20 mA cc, transmitido por cabos, para dar simultaneamente comunicações analógica e digital. Como o valor médio do sinal FSK é sempre zero, o sinal de 4 a 20 mA cc não é afetado pelo sinal digital. Isto produz comunicação simultânea genuína com um tempo de resposta de aproximadamente 500 ms para cada equipamento de campo, sem interromper qualquer sinal analógico de transmissão que possa estar ocorrendo.

Até dois equipamentos principais (master) podem ser ligados a cada malha HART. O primário é geralmente um sistema de gerenciamento ou um PC, enquanto o secundário pode ser um terminal handheld ou um computador laptop. Um terminal padrão handheld (chamado comunicador HART) é disponível para tornar uniformes as operações de campo. As opções adicionais de circuito são fornecidas por gateways.

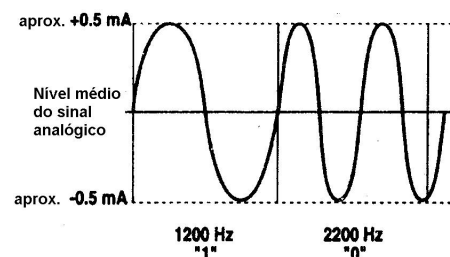



Fig. 11.15. Comunicações analógica e digital simultâneas

Ponto a ponto

Nesta configuração, o sinal analógico de 4 a 20 mA cc continua sendo usado para a transmissão analógica enquanto a medição, ajuste e dados do equipamento são transferidos digitalmente. O sinal analógico não é afetado e pode ser usado para controle de modo normal. Os dados HART dão acesso para manutenção, diagnóstico e outros dados operacionais.

Multidrop

Este modo requer somente um par de fios e, se aplicável, barreiras de segurança intrínseca e uma fonte de alimentação auxiliar para até 15 equipamentos de campo. A configuração multidrop é particularmente útil para instalações de supervisão muito espaçadas, como em tubulações, estações de alimentação e tancagem.

Os instrumentos HART podem ser usados de qualquer modo. Na configuração ponto a ponto, o instrumento de campo tem endereço 0, estabelecendo a corrente de saída em 4 a 20 mA cc. Na

configuração multidrop, todos os endereços de equipamento são maiores do que 0 e cada equipamento estabelece sua corrente de saída para 4 mA. Para este modo de operação, os controladores e indicadores devem ser equipados com um modem HART.

Os equipamentos HART podem se comunicar usando linhas de telefone das concessionárias (Bell, 1973). Nesta situação, somente uma fonte de alimentação local é necessária pelo equipamento de campo e o master pode estar muitos kilômetros distante. Porém, a maioria dos países europeus não permite sinais Bell 202 usados com equipamentos portadores nacionais, de modo que os produtos HART não podem ser usados deste modo.

Fig. 11.16. Terminal portátil

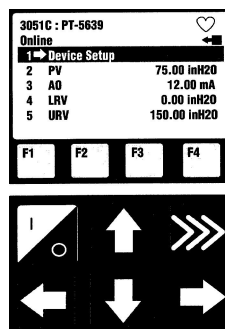



Fig. 11.17. Tela e funções do terminal portátil

Terminal portátil

Há um único terminal portátil (handheld terminal) para todos os equipamentos, representando uma única interface para todos e com as seguintes características desejáveis:

1. pequeno e robusto,
2. alimentado por bateria,
3. podendo ser intrinsecamente seguro, quando necessário uso em locais de Divisão 1 ou não incenditivo para locais de divisão 2, com aprovações do FM e CSA
4. programa é atualizável (upgradeable) no campo, com módulo de memória reprogramável substituível.

O terminal universal é fácil de aprender e usar. Ele possui

1. um display com 8 linhas e 21 caracteres em cristal líquido (LCD)
2. chaves funcionais e
3. chaves de ação, para mover através da estrutura do menu
4. um teclado alfanumérico.

Vantagens

As vantagens do HART incluem:

1. protocolo de comunicação com aceitação mundial, com cerca de 600 equipamentos instalados (padrão *de facto*),
2. padrão industrial aceito pelo usuário, 50.8% dos equipamentos de campo inteligentes com protocolo de comunicação.
3. independente do fabricante
4. gerenciado pela Fundação de Comunicação HART
5. possui um terminal portátil universal para todos os equipamentos HART.
6. possui a capacidade digital de acessar todos os parâmetros do instrumento e fazer diagnóstico,
7. possui a compatibilidade analógica, comunicando também com o sinal padrão de 4 a 20 mA cc, usando a instrumentação existente.

3.4 Fieldbus Foundation

Fieldbus

Quando se menciona a palavra *fieldbus*, a maioria das pessoas pena imediatamente na Fieldbus Foundation (FF). Porém, isso não é correto. O protocolo ou rede Fieldbus Foundation é somente um entre vários barramentos de campo (fieldbus) existentes e disponíveis comercialmente. Genericamente, os barramentos de campo caem em três grandes categorias:

1. no nível mais baixo estão os barramentos de sensores, geralmente no nível de bit, para dispositivos simples de liga-desliga e módulos I/O.
2. no nível intermediário, estão os barramentos de dispositivos, geralmente barramentos de rede de área de controlador (CAN – Controller area network) para redes de CLP e CP.
3. no nível mais alto, cuja categoria ainda está honrada com o nome de fieldbus, estão os dispositivos digitais baseados em sinal e suportando a instrumentação mais inteligente e sofisticada.

Assim, cada *fieldbus* possui seu próprio objetivo, aplicação e tecnologia.

O protocolo LONwork é usado principalmente em aplicações não relacionadas com processo e por isso não será visto. Hart é um protocolo que pode ser considerado interino e incompleto, mas será visto porque é suportado pela maioria dos fabricantes de instrumento.

Como os protocolos de fieldbus vieram para substituir o sinal analógico de 4 a 20 mA e na maioria dos casos com aplicações de segurança intrínseca, os dois sinais podem ser transportados simultaneamente no mesmo par de fios.

Fieldbus Foundation

Fieldbus Foundation é um protocolo totalmente digital, serial, bidirecional, que interliga sensores, atuadores e controladores em um rede de área local (LAN) para instrumentos usados em processo e outras aplicações de automação de manufatura.

A tecnologia Fieldbus Foundation (FF) incorpora blocos de função que distribuem o controle através da rede. Os blocos de função automaticamente suportam alarmes, tendências, relatórios de alarme, sem a necessidade de intervenção de nível mais alto e também fornece embutida uma base de dados de instrumentação na planta. A Fieldbus Foundation implementa a norma IEC/ISA SP50.

A taxa de comunicação da Fieldbus Foundation é de 32,25 kbit/s (H1) para conectar dispositivos individuais de controle e podem ligar a um barramento de 1,0 Mbit/s ou 2,5 Mbit/s, como um backbone de comunicação de campo. É um protocolo adequado para integrar circuitos de controle de processo que fazem controle contínuo de malhas fechadas, sequenciamento de batelada, gerenciamento de receita e tarefas de coleta de dados. O barramento de 1,0/2,5 Mbit/s (H_2) é também conveniente para funções lógicas complexas em redes de controle discreto.

Interfaces com Dispositivos

Na sala de controle, os segmentos da Fieldbus Foundation podem interfacear com uma variedade de equipamentos mestres, como interfaces de operação com computador pessoal (CP) simples até sistemas de controle digital distribuído (SDCD) de qualquer tamanho e configuração. As comunicações acima do nível do mestre são tipicamente em Ethernet.

A tecnologia Fieldbus Foundation foi projetada especificamente para satisfazer a missão crítica de controle e automação de processos, incluindo a distribuição de muitas funções lógicas e controle para dispositivos de campo. Variáveis múltiplas de cada dispositivo de campo podem ser alimentadas para outros dispositivos e para sistemas de controle centrais para

arquivar, analisar, registrar dados, otimizar processos e gerar relatórios.

Há diferenças funcionais significativas entre redes de Fieldbus Foundation e redes no nível de sensor e dispositivo. Por exemplo, uma camada de usuário específica é um elemento essencial da tecnologia Fieldbus Foundation e é chave para a interoperabilidade entre os equipamentos mestre e do campo de diferentes fabricantes no mesmo barramento de campo.

Além disso, a tecnologia de 31,25 kbit/s (H1) permite os equipamentos do campo serem alimentados separadamente ou diretamente através do par de fios trançado existente, economizando a instalação.

A tecnologia Fieldbus Foundation permite o uso de barreira de segurança intrínseca entre a fonte de alimentação (local seguro) e o dispositivo da área classificada. O ênfase da Fieldbus Foundation em mensagem planejada é a chave em aplicações críticas de tempo. A arquitetura suporta controle distribuído através do barramento de campo sem a transmissão de dados entrar em conflito com muitos barramentos.

Fig. 11.18. Logotipo da Fieldbus Foundation

Camadas

A especificação da Fieldbus Foundation é baseada em no modelo aberto das sete camadas da OSI. Ela consiste de apenas três camadas:

1. física
2. comunicação (aplicação e DLL)
3. usuário

O barramento não usa as camadas OSI 3, 4, 5 e 6.

Com esta arquitetura, a Fieldbus Foundation fornece um controle robusto e síncrono. Também fornece uma comunicação assíncrona dos dados para diagnose, relatório, manutenção e pesquisa de defeito. As tarefas de manutenção podem ser feitas em linha, sem interrupção da comunicação síncrona.

Camada física

A camada física (1) recebe mensagens codificadas das camadas superiores e as converte em sinais físicos no meio de transmissão e vice-versa.

Está de conformidade com a norma IEC e ISA para a camada física.

Suporta três taxas de comunicação:

- 31,25 kbit/s
- 1,0 Mbit/s
- 2,5 Mbit/s

Combinação de comunicação

Esta camada combina as camadas link de dados (DLL) (2) e comunicação (7) do modelo OSI A camada de comunicação

A camada de comunicação codifica e decodifica comandos da camada usuário e a camada de link de dados controla de modo determinístico a transmissão de mensagens para o campo através da camada física (1).

Camada do usuário

Esta camada possui os blocos funcionais padrão e faz planejamento destes blocos. Através da descrição do dispositivo, ela permite o sistema mestre operar o dispositivo sem programação do usuário.

Interoperabilidade

A interoperabilidade permite ao usuário misturar e casar dispositivos de campo e mestres de vários fabricantes em um mesmo barramento de campo, mantendo as operações especificadas, com pequena reconfiguração. Ela também permite a adição ou substituição de dispositivos em uma rede de barramento de campo sem a necessidade de revisão do software do mestre.

Interoperabilidade não é intercambialidade. Com interoperabilidade, um dispositivo de campo pode ser substituído por um similar de diferente fornecedor e o sistema é capaz de operar

com o novo dispositivo, com as funções básicas e estendidas. Intercambialidade é a habilidade de substituir exatamente um dispositivo de um fornecedor por outro, de outro fabricante.

Os benefícios da interoperabilidade são:

1. implementar estratégia de controle sobre o barramento de campo, que permite as capacidades de controle serem migradas para um dispositivo de campo e ser executada nele.
2. Monitorar variáveis de controle e status periodicamente, armazenando a informação em uma base de dados para análise e relatório subseqüentes.
3. Configurar e manter dispositivos no barramento de campo com capacidade de configuração e diagnose através do console de manutenção.

Dispositivos de campo interoperáveis permitem que o usuário selecione os melhores produtos e os combine para ter a melhor distribuição de estratégia de controle, monitoração e operação flexíveis e configuração e diagnose remotas.

Características

A capacidade de link de dados da Fieldbus Foundation combina as melhores características desta rede com a previsibilidade do protocolo WorldFIP e a flexibilidade do Profibus. O seu método de controle de acesso oferece interface com todos os modelos de dados modernos, incluindo cliente/servidor, editor/leitor e distribuidor de relatório. Ele suporta multi-segmentos de rede estendendo e ligando a transferência segura de dados.

Ele fornece uma distribuição de tempo mais exata e sincronização através dos sistemas multi-segmentos, detecção e configuração de dispositivos em linha e suporte em linha para construir e rever o planejamento.

Plantas que usam um sistema de comunicação sem uma camada de usuário padrão deve geralmente implementar muitas interfaces de comunicação específicas.

A função de gerenciamento do sistema Fieldbus Foundation sincroniza os planejamentos de tempo para executar os blocos de função e comunica os parâmetros dos blocos no barramento de campo. O gerenciamento do sistema também manipula tarefas como distribuição do tempo universal no sistema e a atribuição automática de endereços do sistema.

Outra característica especial do Fieldbus Foundation é a descrição do dispositivo. Esta descrição serve como um driver para um dispositivo de campo, fornecendo toda informação necessária para se comunicar com um sistema de controle ou mestre e dispositivo. A Fieldbus Foundation fornece uma biblioteca padrão de software chamada de serviço de descrição de dispositivo que pode ler a descrição binária do dispositivo. Qualquer sistema de controle ou mestre com serviços de descrição de dispositivo pode comunicar com o dispositivo se ele tem uma descrição do dispositivo. Esta capacidade permite que dispositivos com características especificas do fabricante sejam adicionadas ao barramento de campo simplesmente pela ligação do dispositivo ao fio do barramento e fornecendo ao sistema ou ao mestre a nova descrição do dispositivo.

O protocolo Fieldbus Foundation estende a hierarquia da rede da planta para o nível de dispositivo de campo, fornecendo aos usuários uma solução completa de rede, do sensor ao computador da planta. O usuário final tem uma grande melhoria em custo e qualidade.

3.5. Profibus Trade Organization (PTO)

Conceito

Profibus (**Pro**cess **fi**eld**bus**) é uma rede de instrumentos de campo que interopera automaticamente com uma grande base instalada de nós de campos. Para um observador casual, o Profibus é o mesmo protocolo que a Fieldbus Foundation H1.

Profibus foi originalmente desenvolvido pela firma alemã Siemens e depois também virou uma fundação.

Atualmente, há duas versões de Profibus

1. uma de acordo com a norma IEC 1158-2, usando uma camada física compatível com segurança intrínseca
2. outra para uso com a camada física RS 485 ou linha de fibra óptica.

Características

O Profibus é um protocolo digital que tem características comuns e diferentes do Fieldbus Foundation, para fazer o mesmo trabalho. As semelhanças incluem:

1. conformidade com a mesma norma de comunicação, ambos com taxa de 31,25 kbit/s.
2. arquitetura com blocos funcionais
3. linguagem de descrição de dispositivo (DDL)
4. mesma camada física para transferência de dados digitais.

As diferenças estão no implementação do protocolo, de modo que embora as camadas físicas possam ser fiadas juntas, as mensagens entregues por um não fazem sentido para o outro (pelo menos agora).

O barramento do Profibus pode operar dispositivos na mesma fiação da rede RS 485 ou baseada em fibra óptica e pode ter taxas de até 12 Mbit/s.

As funções do protocolo Profibus PA são:

1. possibilita ler e escrever variáveis de processo e status de dispositivos
2. permite sistemas com um ou vários mestres (até 127 dispositivos)
3. permite controle, monitoração e regulação sobre uma rede digital de barramento de campo
4. possibilita funcionalidade adicional para automação de processo.

As características físicas do Profibus PA são:

1. transmissão de baixa velocidade intrinsecamente segura e não intrinsecamente segura (IEC 1158-2) e alta velocidade não intrinsecamente segura (RS 485 ou fibra óptica).
2. Como recomendado, par trançado blindado transporta dados e potência à taxa de 31,25 kbit/s e cabo padrão Profibus e fibra óptica transporta dados à taxa de 12 Mbit/s.
3. Estruturas em linha, arvore ou estrela podem ser acoplada ou não acopladas durante operação, com extensão de até 1 900 m e tronco de 120 m.
4. Intercambiabilidade de dispositivos de diferentes fabricantes.

Os protocolos interoperáveis Profibus podem ser considerados como três distintos:

1. PA
2. DP (Device Profiles)
3. FMS (Fieldbus Message Specifications)

A interoperabilidade é conseguida pela definição dos parâmetros e do comportamento do instrumento de campo.

Aplicações

O protocolo Profibus PA é usado na indústria química ou naquelas que possuem áreas classificadas e requerem instrumentos intrinsecamente seguros. Processos que usam PA para serviços H1 podem interoperar com locais Profibus-FMS e Profibus-DP. As comunicações entre redes H1 tipo PA e FMS e DP são manipuladas automaticamente por acopladores de segmento, escolhidos de um grande catalogo de produtos compatíveis. O acoplador de segmento tem as funções de:

1. alimentar os dispositivos PA
2. adaptar a camada física RS 485 para a camada IEC 1158-2 do PA
3. adaptar a taxa de transmissão de 12 Mbit/s no lado RS 485 para 31,25 kbit/s no lado PA.

Um segmento FMS suporta automaticamente a taxa de dados de 12 Mbit/s da rede DP na mesma fiação.

As redes Profibus de alta velocidade não requerem acopladores de segmento porque a camada física é a mesma para cada segmento.

O protocolo Profibus fornece o backbone de um sistema de execução de manufatura que entrega tudo de um comportamento determinístico (tempo real) para uma conectividade corporativa. Quando se escolhe o protocolo PA para processo químico, o processo inteiro é controlado em tempo real de um nó FMS. Se o sistema inclui um gateway Internet, este nó pode colher informação ou carregar código de qualquer lugar do mundo.

A conectividade entre Profibus e rede de automação corporativa (Ethernet, ATM ou TCP/IP) é conseguida através de vários produtos ponte.

Um fator importante no desenvolvimento PA é o reconhecimento que redes intrinsecamente seguras são usadas em áreas classificadas. Este processo não é uma ilha. Seus produtos vão para sistemas que devem ser automatizados em rede de alta velocidade e com instrumentos de uso geral.

Para os usuários mundiais do Profibus, H2 é chamado de Profibus FMS e Profibus DP. Os protocolos FMS e DP interoperam em todas as taxas de dados na mesma rede.

Hoje há mais de 50 fabricantes participando do mercado Profibus PA (a maioria da Europa, como Siemens, Krohne, Pepperl+Fuchs, Samson, H&B).

A interoperabilidade entre Profibus PA e Fieldbus Foundation H1 é esperada, no futuro.

3.6. WorldFIP

Origem

WorldFIP é um *clube* de indústrias - associação não lucrativa dedicada a um barramento de campo padrão internacional, com 10 anos de idade. Este protocolo já usa a camada física ISA/IEC. Refletindo sua dedicação para abrir as normas internacionais, o WorldFIP é um membro da Fieldbus Foundation (FF) e já tem status de uma norma européia.

Aplicações

Os membros da WorldFIP incluem indústrias petroquímicas, manufatura discreta, transporte de massa e utilidades. Muitos setores são capazes de mover mais rápido que a indústria petroquímica, pois eles não possuem processos perigosos.

Ele também podem oferecer maquinaria de alta velocidade, levando o WorldFIP a ter mais resistência em barramentos de campo de alta velocidade. Por causa de seu enfoque aberto, os membros do WorldFIP já tem produtos de alta velocidade no mercado, há muito tempo. Eles tem uma grande experiência em projetar e instalar sistemas e resolver problemas reais que aparecem em instalações reais, diferente de plantas piloto ou demonstrações.

WorldFIP reconhece, desde a sua origem, que um barramento de campo deve suportar as necessidades da instrumentação e controle de tempo real e também as necessidades de extrair informação da planta e de seu equipamento, sem perturbar o mundo de tempo real. Ele também reconhece o pessoal envolvido em instrumentação, automação e controle pode facilmente especificar suas exigências em termos de variáveis cíclicas, variáveis de evento e mensagens.

WorldFIP suporta estas necessidades tendo três tipos de tráficos de rede:

1. Cíclico: sempre transmitido em tempo, e.g., para controle de malha fechada.
2. Eventos: transmitido quando ocorrendo, e.g., alarmes.
3. Mensagens: transmitido quando requerido, e.g., transferência de

configurações, diagnose de uploading.

Além destes três tipos de tráficos, usando um modelo produtor-consumidor, para comunicação, permite ganho aberto para acessar a mesma informação de muitos nós, sem afetar o tráfico. Esta é a chave para implementar facilmente um sistema aberto de barramento de campo.

O WorldFIP tem uma família rica de chips de suporte (MicroFIP). Este chip traz uma solução completa e barata para o barramento de campo e seus dispositivos associados.

Interoperabilidade

A existência de um chip (barato), uma norma e ferramentas é necessária mas não é suficiente para criar um mercado. A chave final é a interoperabilidade, que permite diferentes fabricantes fornecer vários produtos no mercado. WorldFIP foi o primeiro protocolo a colocar o problema e distinguir claramente:

1. Interoperabilidade no nível de comunicação, que independe do dispositivo e é fácil de conseguir.
2. Interoperabilidade no nível de aplicação, que requer uma descrição funcional comum a todos os dispositivos que tem para interoperar.

3.7. ARCnet

Conceito

ARCnet apareceu no fim da década de 1970, como uma rede de processamento distribuído de dados. Quando a demanda para redes de escritório se desviou para a Ethernet, no fim da década de 1980, o protocolo da passagem de bastão foi aplicado em controle de tempo real. Ele provou sua confiabilidade em sete milhões de nós atualmente instalados no mundo.

ARCnet é usada em centenas de aplicações que afetam a vida diária, como aviões, trens, barcos e carros. É também usado em elevadores, restaurantes de fast food, controle de ar condicionado de edifícios e sistemas de segurança.

Vantagens

As vantagens do protocolo em sistema de controle de tempo real incluem:

1. determinismo
2. entrega de mensagem confiável
3. comunicação ponto a ponto
4. reconfiguração
5. longa distância
6. grande número de nós
7. taxas de comunicação variáveis

O protocolo ARCnet garante que os dados são entregues em um certo período de tempo de modo garantido, usando um método de passagem do bastão de acessar a rede. Um único bastão lógico existe na rede e é passado de nó a nó, Quando um nó recebe o bastão, ele tem o direito exclusivo de transmitir uma mensagem para a rede; todos os outros nós ficam em modo de escuta. Se um nó não tem uma mensagem para transmitir, ele simplesmente passa o bastão para o nó seguinte.

Este determinismo contrasta com redes usando um acesso múltiplo de sentir a portadora (CSMA), como a Ethernet, que não pode garantir o tempo de entrega da mensagem devido a colisões, quando vários nós tentam transmitir ao mesmo tempo.

Por questão de confiabilidade, cada mensagem transmitida passa por um check de redundância cíclica (CRC) para erros. Mensagens corrompidas durante a entrega são detectadas e retransmitidas. Mensagens recebidas corretamente avisam o nó de recebimento para enviar um conhecimento positivo de volta para o nó de transmissão.

A comunicação peer-to-peer, onde cada nó na rede pode se comunicar diretamente com qualquer outro nó, permite uma verdadeira arquitetura de controle distribuído. A arquitetura de controle central é também possível para ter nós escravos transmitindo dados para um mestre que, por sua vez, envia dados de controle para os escravos. Há ainda um método para propagar as mensagens usando um nó destino de reserva.

3.8. ControlNet

Conceito

ControlNet é um protocolo desenvolvido pelo fabricante americano de CLP Allen Bradley.

ControlNet é uma rede de alta capacidade, alta velocidade, que fornece uma conexão entre controladores e subsistemas de I/O. Ela foi desenvolvida para aplicações em que a integridade dos dados, determinismo, alta velocidade e alta capacidade de dados são requeridas.

Aplicações de ControlNet necessitam de controle rigoroso sobre os processos, quando envolvendo aplicações com estações I/O remotas e intertravamento com CLP, relacionados com controle de processos contínuos e discretos. Exemplos incluem esteiras de alta velocidade, montagem de alta velocidade, engarrafamentos e empacotamentos. Outros exemplos com processos incluem: tratamento de água e de efluentes, indústrias químicas, de alimento, bebida, balanço de plantas.

Características chave

ControlNet permite a comunicação de mensagens e I/O na mesma fiação (no passado eram usadas duas redes separadas). O meio físico de comunicação padrão é o cabo coaxial (RG6), que possui larga banda de passagem, imunidade a ruído e baixo custo.

ControlNet usa um modelo avançado de produtor/consumidor, onde cada nó pode ser um produtor (transmissor) de dados, consumidor (receptor) de dados ou ambos. Os dados de tempo crítico são transferidos deterministicamente via conexões de alta velocidade e dos dados não críticos são enviados através da conexão cliente -servidor.

Proprietário ou aberto

A Allen Bradely está tornando a especificação do ControlNet disponível para qualquer fabricante, de modo que um sistema inteiro de ControlNet pode ser montado sem qualquer produto Allen Bradley.

Tornando aberta a tecnologia e colocando o tema da interoperabilidade de vários vendedores em evidência, os usuários podem agora concentrar para escolher a rede de automação e controle que seja melhor em sua classe. Nenhuma licença é requerida para desenvolver produtos ControlNet. Apenas um termo de concordância de uso, similar ao usado com o protocolo DeviceNet, é requerido para aqueles que querem usar o nome ControlNet.

Aplicação

Enquanto existem áreas cinzas onde o uso de um tipo de rede termina e começa outra, os sistemas de comunicação em uma planta inteira operaram em três níveis, cada um com uma função definida:

1. na camada inferior, as redes no nível de dispositivo, com DeviceNet, para funções discretas ou Fieldbus Foundation para dispositivos mais complexos.
2. na camada superior estão as redes de informação, como a Ethernet. Estas redes cobrem grandes áreas geográficas e são principalmente usadas para compartilhar e rastrear dados da planta. Os volumes de dados são grandes, as velocidades de transmissão são lentas. As redes geralmente são não determinísticas, ou seja, não garantia de entrega em tempo real.
3. entre estas duas camadas de dispositivo e de informação, está a camada de controle e automação. Neste nível, as aplicações requerem acoplamento firme entre o controlador e os dispositivos I/O, com determinismo e precisão. Nenhuma rede no nível de dispositivo ou de informação pode fazer isso efetivamente. A ControlNet pode.

ControlNet é uma operação de rede determinística, de alta velocidade, para automação e controle.

Fábrica
Produção
Processo
Célula
Campo
Sensor
CAN
BitBus
Echelon
Profibus/ISP
FIP
Ethernet
MAP
Fieldbus Foundation
Transferência de arquivos
Programa a programa
Roteamento
Jornal
Tarefa a tarefa
Objetos
Reconfigurar
Manipulação de eventos
Dispositivo de ler/escrever
Programa
Downloading
Sensores e atuadores analógicos
Sensores e atuadores digitais
Sensores e atuadores tempo real
Hierarquia de Controle
Escopo do barramento
Aplicação

Negócios
Controle
Dispositiv
Sensor
Interbus
Profibus
Profibus
AS
Seriplex
LONWork
Ethernet
CAN
DeviceNet
SDS
FF H1
Fieldbus
Foundation H2
Profibus
Processo
Discreto
Contínuo

5. Integração de Sistemas

5.1. Cenário da planta

O cenário típico da planta, com relação ao controle e monitoração do processo é o seguinte:

1. o processo principal controlado por um sistema digital, que pode ser um Sistema Digital de Controle Distribuído, quando complexo, controladores microprocessados single loop, quando muito simples ou algum sistema intermediário baseado em computador pessoal, quando o processo for médio, onde há o controle de unidades como reator, coluna de destilação, forno, secador, trocador de calor
2. alarme e intertravamento do processo feito por Controlador Lógico Programável convencional, ou quando o processo for crítico, com CLP com tripla redundância
3. sistema de monitoração de máquina rotativa digital
4. sistema com analisadores em linha com processo
5. sistema digital para pesagem, ensacamento, entamboramento ou expedição do produto acabado
6. sistema de monitoração e controle das utilidades (vapor, águas, ar comprimido de instrumento e de serviço, gases) e casa de força (energia elétrica principal e cogeração de energia de reserva), onde há sistemas de controle de equipamentos específicos como caldeira, compressor, torre de refrigeração
7. sistema para gerenciamento do almoxarifado de peças e equipamentos para manutenção
8. planejamento da produção da planta
9. gerenciamento dos laboratórios químico e físico

Todos estes sistemas possuem o seu próprio sistema de automação e controle automático, de modo que há várias ilhas de automação. É altamente desejável que todos os sistemas de controle e monitoração sejam integrados em um único sistema, de modo que tudo funcione de modo orquestrado, ordenado e conforme.

5.2. Conceito de Integração

Integrar um sistema significa ser capaz de

1. ajustar o sistema antes que qualquer unidade ele fique fora dos limites de tolerância
2. saber o que provavelmente aconteceu em cada unidade, através da diagnose, de modo que a unidade retorne a operar o mais rápido possível
3. atrelar e juntar as funções de controle, monitoração, alarme, intertravamento, otimização de controle, gerenciamento de produção e planejamento dos negócios, para simplificar, coordenar e harmonizar estas funções
4. compartilhar o conhecimento com todo o pessoal envolvido, técnico, gerencial e administrativo, de modo que todos passem a trabalhar em direção ao mesmo objetivo, como uma equipe integrada.

A integração do sistema envolve a coordenação das mesmas funções de várias unidades e das diferentes funções da mesma unidade. Ou seja, todos os sistemas de controle devem ser integrados em um único sistema, para que o operador do processo tenha uma visão geral de toda a planta. Também as funções de controle, alarme, otimização de processo, gerenciamento da produção, expedição do produto, compra de materiais devem ser integradas em um único sistema com compartilhamento de dados e recursos.

Integração é a comunicação vertical para troca de informação e as conexões hizontais para compartilhamento das tarefas e responsabilidades. Integração pode ser a troca de dados ou quando se tem nomes comuns de variáveis, enderecos e funções, pode ser o compartilhamento de uma interface de operação unificada, com todas as informações disponíveis.

5.3. Pirâmide da interoperabilidade

Em toda planta pode se visualizar uma pirâmide virtual da operação, envolvendo o sistema de controle, o gerenciamento da

produção e o planejamento corporativo da empresa.

No nível mais baixo da planta, chamado de chão de fábrica, tem-se o controle regulatório do processo industrial, envolvendo sensores, transmissores inteligentes, válvulas de controle, atuadores de campo, módulos de conversão de entrada e saída do sistema digital. É o local das medições e controle regulatório do processo.

Associado ao controle do processo (ou acima deste nível), há o sistema de monitoração,alarme e intertravamento do processo, que assegura a operação segura do processo. Este nível engloba CLPs (por exemplo, da Allen-Bradley), anunciadores de alarme e diagnose de falhas.

Acima deste nível, há o controle otimizado do processo, incluindo as estações de operação e controle da planta, com SDCDs (por exemplo da Foxboro), CLPs (por exemplo, da Triconex), SCADA (Controle Supervisório e Aquisição de Dados), analisadores em linha (por exemplo, da Hewlett Packard). Tem-se as funções de calibração dos instrumentos, manutenção preventiva de equipamentos, implantação de sistema de qualidade.

Estes três níveis são altamente técnicos e se baseiam na qualidade e produtividade.

Acima destes níveis, há o controle supervisório da planta (por exemplo, feito pelo InTouch), gerenciamento da produção, operação do processo, onde se tem o interesse de cortar custos, diminuir despesas, substituir operadores por máquinas. Os equipamentos envolvidos neste nível são computadores pessoais (CP, por exemplo da IBM). Neste nível são executadas as funções de integridade do processo, validação do processo, integridade da informação.

No topo de pirâmide há o gerenciamento de negócios da corporacao, envolvendo integração de manufatura por computador, sistema de gerenciamento da informação, sistema de execução da manufatura, controle estatístico do processo (há quem coloque o CEP no nível de baixo) e relatórios do gerenciamento. A base deste nível é a rede de computadores, incluindo Internet e Intranet, funcionando como um computador virtual.

Na integração, as vantagens de um determinado sistema são amplificadas e compartilhadas por outros sistemas que apresentam deficiências neste enfoque. Por exempo, na integração de um SDCD com CLP, a estação de operação do SDCD, que é amigável e robusta, é utilizada pelo usuário do CLP, que possui uma grande capacidade de processamento de entradas e saídas para a informação digital. O CLP fornece os status dos dispositivos controlados pelo SDCD e o SDCD dá ao CLP os sinais de controlepara parar e partir motores, abrir e fechar válvulas solenóides.

5.4. Parâmetros da integração

A integração busca a operação conjunta de vários sistemas, com diferentes funções, feitos por diferentes fabricantes, compartilhando dados, fontes, dispositivos, equipamentos, programas e controle de variáveis analógicas e digitais.

Por isso os parâmetros chave de uma integração de sistemas são:

1. equipamentos
2. interfaces
3. protocolos
4. informação (base de dados)
5. comunicação

Equipamentos

A integração envolve a interligação de equipamentos com funções diferentes, fornecidos por fabricantes diferentes. Os equipamentos envolvem computadores pessoais, que possuem sistemas operacionais, rodam programas aplicativos e usam algoritmos e linguagens distintas. A maioria dos controles de processos contínuos é feita através de SDCDs, que possuem módulos de entrada e saída, consoles de operação, sistema operacional proprietário ou aberto, sistema de comunicação digital. Quando os processos são simples e com poucas malhas, o controle pode ser feito por controladores microprocessados, que necessitam de drivers para serem usados em um sistema supervisório. A monitoração, alarme e intertravamento são feitos por CLPs, que possuem módulos de entrada e saída e um sistema de comunicação digital, geralmente proprietário, como o ControlNet, da Allen Bradley.

Quando os equipamentos são fabricados pela mesma empresa, geralmente (devia ser sempre) não há problema de comunicação entre eles, pois o mesmo fabricante fornece a interface e o protocolo de comunicação. Quando são de fabricantes diferentes, há a necessidade de desenvolver uma interface de comunicação entre eles, geralmente por uma terceira firma.

Interface

Interface é um equipamento, às vezes associado a um programa, que permite a ligação entre dois outros equipamentos incompatíveis. Por exemplo, um SDCD pode operar em conjunto com um CLP, mas deve haver uma interface entre eles, para a ligação física e lógica deles.

A maioria dos fabricantes de SDCD já incorpora em seus sistemas módulos de entrada e saída de CLPs, de modo que é fácil e natural o uso dos dois sistemas.

Há uma grande variedade de interfaces de equipamentos para transmissão digital, tais como RS 232C, RS 449, RS 423, RS 422, RS 485, IEEE 488, HP IL (IEC 625), VXI Bus, CAMAC (IEEE 583).

Protocolo

Protocolo é o conjunto de regras que permitem a comunicação digital entre dois sistemas. Por exemplo, dois CLPs ou dois SDCDs podem operar em conjunto, mas deve haver um mesmo protocolo, para que seja possível a operação conjunta. Na prática, são desenvolvidos conversores de protocolo.

Atualmente há uma grande variedade de protocolos proprietários (alguns se abrindo, através de Fundações), tais como Profibus (Process Fieldbus, originalmente da Siemens), MAP (Manutacturing Automation Protocol), Fieldbus Foundation (IEC ISA SP 50), ISP (Interoperable System Project), WorldFIP North America, FIP (Honeywell e Telemecanique), Controller Área Network (CAN), ControlNet (Allen Bradley), ARCNet (ANSI 878.1), Devicenet, LON Works, Numatics, Porlog, Modicon, Ethernet (IEEE 802.3), Token ring (IEEE 802.4).

Base de dados

A integração do sistema depende da tecnologia de base de dados relacional. O sistema deve oferecer atualização em linha para a base de dados para suporte de acesso e relatório de linguagem estruturada.

O sistema de informação do sistema integrado deve compartilhar a informação entre os vários bancos de dados e tarefas relacionadas com:

1. controle de processo regulatório
2. controle de processo supervisório
3. gerenciamento do laboratório
4. planejamento de produção
5. programa de expedição
6. gerenciamento do almoxarifado
7. alarme e intertravamento normal e crítico (com redundância tripla)
8. processos avançados ou especializados (batelada, mistura, monitoração de máquina rotativa)

Deve haver um programa aplicativo que facilite a troca de dados entre as diferentes aplicações.

Comunicação

Deve haver um sistema de comunicação flexível e eficiente entre as diferentes pessoas da planta: operadores, pessoal de manutenção, gerentes e planejadores. Diferentes pessoas gerenciam suas áreas de modos diferentes, mesmo que a base de dados seja a mesma.

Quando o processo está rodando normalmente, o operador necessita de pouca informação. Quando ocorre uma falha, o pessoal de manutenção necessita de informação detalhada para identificar e isolar o dispositivo defeituoso.

O supervisor está mais interessado na eficiência do processo, quantidade de produção e outros detalhes relacionados com a produtividade durante seu turno. O engenheiro de processo se interessa pelo projeto do sistema de controle e quer saber se o sistema pode ser melhorado. O gerente responsável pela operação quer informação em tempo real de taxas de produção e status do sistema.

O operador precisa da informação no chão de fabrica, próxima da máquina do processo. O supervisor de turno necessita da informação no console de controle do sistema. O pessoal de manutenção quer a informação no instrumento de controle e dentro do gabinete do equipamento. O

engenheiro de automação e processo quer a informação em sua oficina, no console de controle da área, no terminal conveniente, no equipamento de controle e no gabinete do equipamento. O gerente necessita da informação em um sistema centralizado ou em seu escritório.

5.5. Como integrar

A integração é algo muito subjetivo. A integração deve ser realizada através de sistemas de automação e controle, formando equipes para comunicar e compartilhar seus planos com todos os envolvidos.

Não há modo melhor ou mais fácil de automatizar e integrar. Cada um deve descobrir o que é melhor para sua aplicação. Todo mundo deve ser envolvido desde o início. Deve se conhecer profundamente o sistema: quantas entradas e saídas existem, como ele realmente opera e quais são seus gargalos e limitações.

Deve se fornecer treinamento adequado a todos os envolvidos. Deve se monitorar o progresso e aprender com ele.

O melhor caminho é começar simples, aprender um pouco mais do sistema e tomar novo passo. Todo o tempo, porém, deve-se planejar a integração total.

Componentes de sistema de automação

- Sensores
- Atuadores
- Sistema de controle regulatório (Controlador single loop ou Sistema de Controle Distribuído)
- Sistema de alarme e monitoração do controle regulatório (Controlador Lógico Programável)
- Sistema de alarme de processo crítico (Controlador Lógico Programável com Redundância Tripla)
- Sistema de controle especializado (Batch, Blending)
- Sistema de monitoração de máquina rotativa
- Controlador numérico
- Robô
- Sistema de expedição (entamboramento, expedição, ensacamento, engarrafamento)
- Equipamento de teste automático
- sistema de programação de produção
- Sistema de simulação de fabrica
- Sistema de manutenção e gerenciamento
- Sistema de gerenciamento da qualidade
- Sistema de gerenciamento de almoxarifado

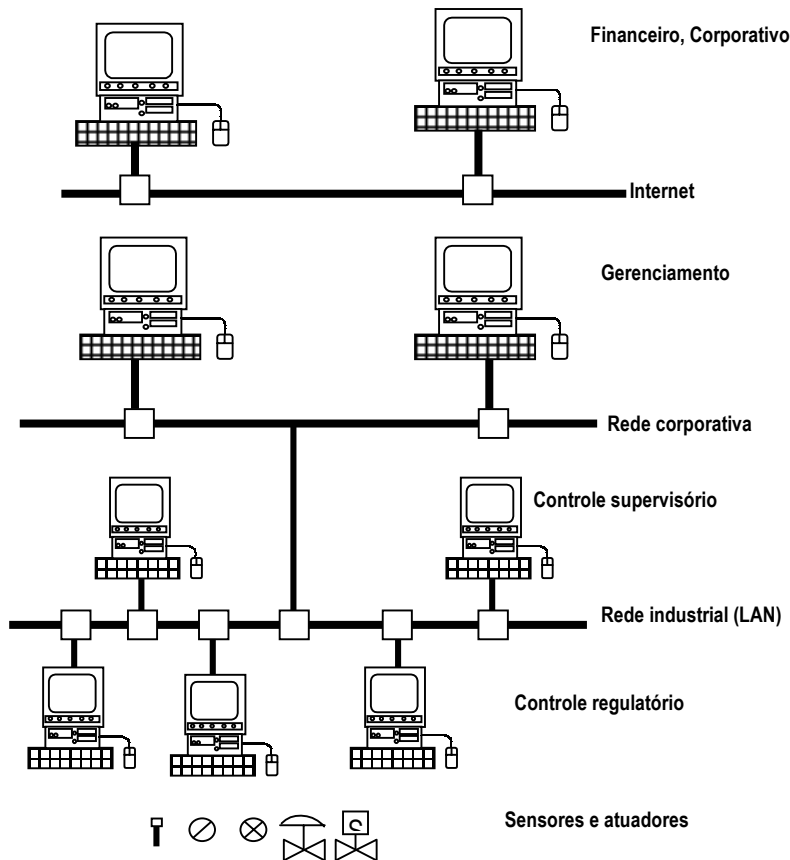



Fig. 11.22. Ambiente de manufatura ou controle de processo

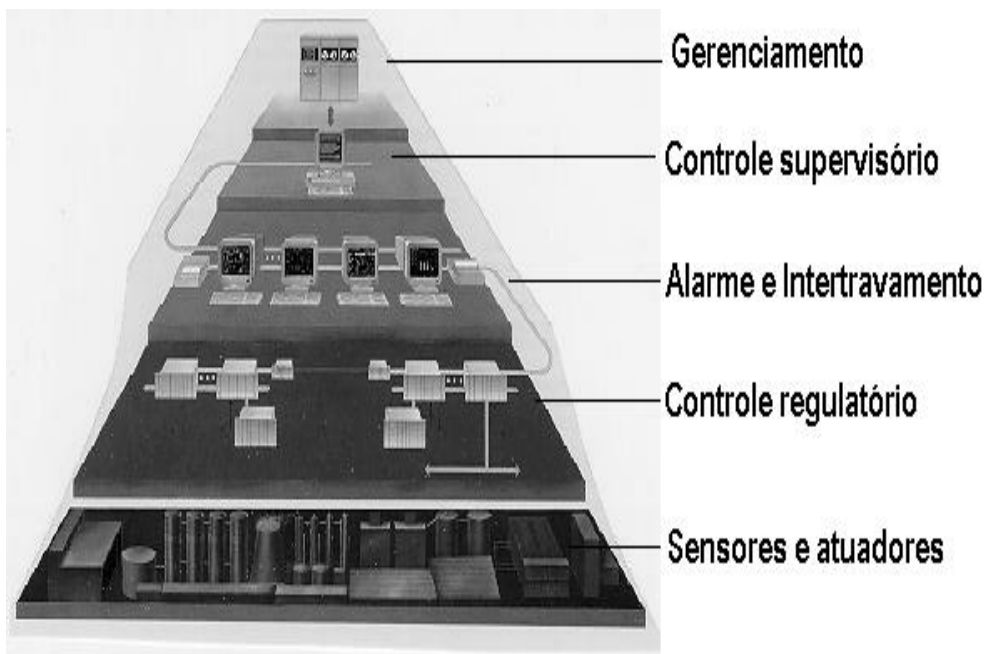



Fig. 11.23. Pirâmide do controle de processo

12 Base de Dados

1. Terminologia

Acesso de dados

Obter dado de um computador ou colocar dado no computador para uso ou armazenagem. O modo em que os conjuntos de dados são referidos pelo computador.

O acesso pode ser para ler ou escrever, dinâmico, imediato, seqüencial ou aleatório, paralelo ou serial, remoto ou local, imediato.

Administração da base de dados

A administração de uma base de dados inclui o desempenho das funções de projetar, definir, desenvolver, operar, manter, usar organizar, acessar, controlar, gerenciar, armazenar e proteger os dados. A administração é também responsável pela integridade, segurança, desempenho e recuperação dos dados. O programa para usar uma base de dados pode ser parte de um sistema de gerenciamento da base de dados ou pode ser um sistema isolado.

Análise de dados

É uma investigação sistemática dos dados e seu fluxo em um sistema real ou planejado.

Aquisição de dados

Aquisição, coleta ou coleção de dados é o processo de identificar, isolar e reunir dados de uma ou mais fontes para serem processados de modo centralizado.

Arquivo de dados

Uma coleção de dados relacionados, organizados de modo específico. Por exemplo, arquivo da folha de pagamento, onde se tem o registro de cada empregado, mostrando salário e deduções ou arquivo de inventário, com um registro para cada item do inventário, mostrando descrição, custo, preço de venda, número de estoque.

Um arquivo de base de dados é um objeto que contem descrições de como os dados de entrada são apresentados para um programa de uma fonte de armazenagem interna e como os dados de saída devem ser apresentados para uma fonte de armazenagem interna.

Atributo do dado

Uma característica de uma unidade de dados, como comprimento, valor ou método de representação.

Banco de dados

Banco de dados é um conjunto de dados relacionados a um dado assunto e organizado de modo que possa ser consultado por usuários. É uma coleção compreensiva de bibliotecas de dados. Por exemplo, uma linha de um pedido pode formar um item, um pedido completo pode formar um registro, um conjunto completo destes registros pode formar um arquivo, a coleção de arquivos de controle de um inventário pode formar uma biblioteca e as bibliotecas usadas pela organização são conhecidas como um banco de dados.

Barramento de dados (bus)

Um barramento para comunicar dados interna ou externamente para e de unidades de processamento, de armazenagem e dispositivos periféricos.

Base de dados (database)

Base de dados é uma coleção de dados com um dada estrutura para aceitar, armazenar e fornecer, quando solicitado, dados para vários usuários. Uma coleção de dados inter-relacionados organizados

de acordo com um esquema para servir uma ou mais aplicação. A base de dados é uma coleção de dados fundamental para um sistema ou uma empresa.
Base de dados relacional é aquela em que os dados são organizados e acessados de acordo com relações.

Chave da base de dados

Chave da base de dados é atribuída pelo sistema de gerenciamento para identificar de modo biunívoco um registro em uma base de dados. É um valor único que serve como ponteiro para identificar um registro em uma base de dados para uma unidade que o roda.

Comunicação de dados

Transferência de dados entre unidades funcionais por meio de transmissão de dados e de acordo com um protocolo. Transmissão, recepção e validação dos dados.

Conexão de dados

A interligação de dois equipamentos de terminal de dados (DTE) por meio de circuitos de dados chaveados para possibilitar a transmissão de dados entre os equipamentos.

Conjunto de dados

A maior unidade de dados armazenados e recuperados, consistindo de uma coleção de dados em um de vários arranjos prescritos e descritos pela informação do controle para o qual o sistema tem acesso.

Conversão de dados

Processo de mudar dados de uma forma de representação para outra.

Corrupção de dados

Uma violação da integridade do dado. Mesmo que contaminação do dado.

Dado

Dado é uma representação reinterpretável da informação em um modo formalizado, apropriado para comunicação, interpretação ou processamento. Estas operações dos dados podem ser feitas de modo manual ou automático. O dado é qualquer representação, como caracteres ou quantidades analógicas, na qual se associa ou se atribui um significado. Os dados podem incluir constantes, variáveis, matrizes e conjunto de caracteres (string).

Os dados podem ser absolutos ou relativos, numéricos, alfabéticos ou alfanuméricos, analógicos ou digitais ou discretos, podem ser de entrada ou de saída,

Um programador pode fazer uma distinção entre instrução e dado que ela opera, porém, de modo geral, dados incluem programas e instruções de programa.

Debug

Para detectar, localizar, diagnosticar e eliminar erros em programas de computador.

Default

Pertencente a um atributo, condição, valor ou opção que é assumido, quando nenhum outro é explicitamente especificado. Por exemplo, valor default é o assumido quando nenhum valor é especificado. Sinônimo de **valor assumido**.

Definição do dado

Informação que descreve o conteúdo e características de um campo, registro ou arquivo. Uma definição de dado pode incluir coisas como nomes de campos, comprimentos, locações e tipos de dados.

Dicionário de dado

Uma base de dados que, para dados de um certo conjunto de aplicações, contem metadados que trata de objetos individuais de dados e suas varias ocorrências em estruturas de dados. Um repositório centralizado de informação acerca de dados, tais como significado, relações com outros dados, origem, uso e formato. Ele assiste o gerenciamento, análise e administração dos dados durante o planejamento, controle, avaliação, armazenagem e uso dos dados.

Entrada de dados

O processo de colocar dados em uma máquina com leitura. Por exemplo: entrar dados em um arquivo da lista de pagamento em um disco flexível de um terminal. A entrada de dados em um computador de um dispositivo, geralmente um terminal.

Equipamento terminal de dados (DTE)

Parte da estação de dados que serve como fonte de dados, receptor de dados ou ambos.

Especificação da base de dados

Um documento que fornece o dado de projeto básico para a construção dos arquivos, tabelas, bibliotecas e dicionários do sistema, além da descrição de alocação de armazenagem e organização da base de dados.

Esquema da base de dados

O esquema é uma especificação formal da representação e estrutura de uma base de dados para a coleta possível de todas as sentenças que estão em um esquema conceitual e na base de informação.

Estação de display dos dados

Estação onde o operador pode entrar dados mas não comandos. Uma estação é adquirida e controlada por um programa. É diferente da estação de comando de comandos.

estação de dados

O equipamento terminal de dados (DTE), o equipamento circuito terminal de dados (DCE) e qualquer equipamento intermediário. Mesmo que **instalação terminal de dados**.

Estrutura

Uma variável que contem um grupo ordenado de objetos de dados. Diferente de uma matriz, os objetos de dados dentro de uma estrutura podem Ter tipos diferentes de dados. Uma coleção de itens de dados que não precisam ter atributos idênticos.

Estrutura do dado

A estrutura sintática de expressões simbólicas e suas características de alocação de armazenagem. Há estrutura lógica e física do dado.

Expurgo (*purging*) de dados

O expurgo por um sistema de processamento de um registro lógico que tenha sido recebido e filtrado mas ainda não recuperado por um programa de transação. O expurgo de dados ocorre quando um programa recebendo transação termina anormalmente ou encontra um erro antes que ele tenha recuperado todos os dados filtrados associados com o registro lógico. É diferente de truncação de dados.

Fluxo de dados

Em linguagem de programação, a transferência de dados entre constantes, variáveis e arquivos conseguida pela execução de comandos, procedimentos, módulos ou programas.

Fonte de dados (*source*)

A unidade funcional que gera os dados para transmissão. A parte do equipamento terminal de dados (DTE) que entra os dados em um link de dados. Contrário de **Receptor de dados**.

Integridade do dado

A condição que existe sempre que não ocorre uma destruição, alteração ou perda do dado, acidental ou intencional. É a preservação do dado para seu uso pretendido. Existem ainda integridade da aplicação e integridade do sistema.

Integridade da base de dados é a proteção dos itens dos dados em uma base de dados enquanto eles estejam disponíveis para qualquer aplicativo. Isto inclui a isolação dos efeitos das atualizações concorrentes para uma base de dados por dois ou mais aplicativos.

Interface de transmissão de dados

Um limite compartilhado definido pelas características funcionais, interconexão física comum, sinal e outras características apropriadas. O conceito envolve a especificação da conexão de dois dispositivos tenho funções diferentes.

Linguagem de definição de dado (DDL)

Uma linguagem para descrever o dado e suas relações em uma base de dados. Mesmo que linguagem de descrição de dado.

Link de dados

O conjunto de partes de dos equipamentos terminais de dados que são controlador por um protocolo do link e o circuito de ligação dos dados, que permite os dados serem transferidos de uma fonte de dados (source) para um receptor (sink). O link de dados inclui o circuito e o

protocolo, mas não inclui a fonte de dados transmissora e receptora.

Uma linha de comunicação é somente o meio físico de transmissão; por exemplo, o fio do telefone. O link de dados inclui o meio físico de transmissão, o protocolo, os equipamentos associados e o programa. A linha de comunicação é apenas física; o link de dados é físico e lógico.

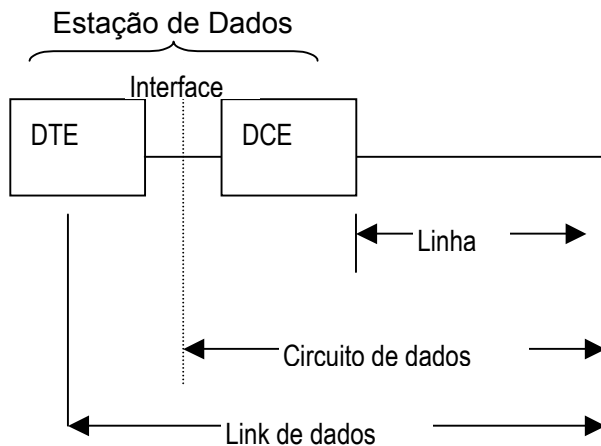



Fig. 12.1. Link de dados

Linguagem

Linguagem relacional, em um sistema de gerenciamento de base de dados, é uma linguagem para acessar, esperar (querying) e modificar uma relação de base de dados. Uma linguagem relacional usualmente oferece pouca capacidade computacional.

Multiplexador

Um dispositivo que toma vários sinais de entrada e os combina em um único sinal de saída, de modo que cada sinal de entrada possa ser recuperado. Um dispositivo capaz de entrelaçar os eventos de duas ou mais atividades ou capaz de distribuir os eventos em uma seqüência entrelaçada para as respectivas atividades. Possui várias entradas e uma única saída.

O demultiplexador é um dispositivo que recupera como sinais de saída, cada um dos sinais combinados por um multiplexador precedente. Possui uma entrada e várias saídas.

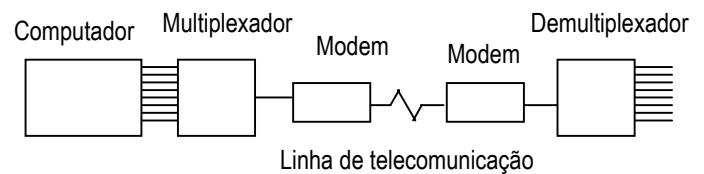



Fig. 12.1. Multiplexador

Objeto de dado

Uma coleção de dados referidos por um único nome. Em um programa, um elemento de estrutura de dados, tal como arquivo, matriz ou operando, que é necessário para a execução de um programa e que é nomeado ou especificado de outro modo pelo conjunto permissível de caracteres da linguagem em que o programa é codificado. Diferente de objeto de máquina.

Portabilidade do dado

A habilidade de usar conjuntos ou arquivos de dados com diferentes sistemas operacionais.

Processamento de dados

O desempenho sistemático de operações sobre dados. Por exemplo: operações lógicas e aritméticas sobre dados, classificação ou busca de dados, compilação de programas. Os dados são processados em uma estação, por um computador que roda um programa. Um sistema de computador é um sistema de processamento de dados ou de informação.

Programação estruturada

Um método para construir programas usando somente elementos hierarquicamente combinados, cada um tendo uma única entrada e uma única saída. São usados três tipos de fluxo de controle em programação estruturada: seqüencial, condicional e iterativa. É uma técnica para organizar e codificar programas que os torna mais fácil de verificar (debug), modificar e substituir.

Um programa estruturado é uma hierarquia de módulos que todos tem um único ponto de entrada e um único ponto de saída. O controle passa adiante através da estrutura sem ramos incondicionais para níveis mais altos da estrutura.

Proteção de dados

A implementação de meios técnicos, administrativos ou físicos apropriados para evitar o acesso não autorizado aos dados. Uma salvaguarda contra a modificação não autorizada ou destruição de dados.

Qualidade do dado

Correção, ausência de atraso, exatidão, completude, relevância e acessibilidade que torna um dado apropriado para seu uso.

Query (pergunta, solicitação)

Uma requisição para dado de uma base de dados, baseada em condições especificadas. Por exemplo, um pedido para disponibilidade de uma passagem área em um sistema de reserva.

Processo pelo qual uma estação mestre pede à estação escrava para se identificar e dar seu status.

Linguagem query é uma linguagem de manipulação de dados para o usuário final atuar diretamente (recuperar ou possivelmente modificar o dado armazenado) em uma base de dados. Ex.: Linguagem query estruturada (SQL)

Queue (fazer fila, espera)

Uma lista construída e mantida de modo que o próximo dado a ser recuperado seja o que está em primeiro lugar na armazenagem. Uma linha ou lista de itens esperando para ser processada. Exemplos: trabalhos a serem feitos ou mensagens a serem mostradas. método caracterizado como: primeiro na entrada, primeiro na saída (first in, first out - FIFO).

Receptor de dados (*sink*)

A unidade funcional que aceita os dados transmitidos. A parte do equipamento terminal de dados (DTE) que recebe os dados de um link de dados. Contrário de **Fonte de dados**.

Um dispositivo que converte dados de representação analógica, como transmitido em telecomunicação, para representação digital, para uso no computador digital.

Rede de dados (network)

Um arranjo de circuitos de dados e facilidades de chaveamento para estabelecer conexões entre o equipamento terminal de dados.

Redução de dados

A transformação de dados originais em uma forma mais usável. Por exemplo, filtro para reduzir ruído.

Relação

Relação é um conjunto de ocorrências da entidade que tem os mesmos atributos. Em uma base de dados relacional, é uma tabela que identifica entidades e seus atributos. Uma estrutura relacional possui dados arranjados como tabelas de relações.

Segurança (security) de dados

A proteção de dados de modificação acidental ou intencional ou destruição de dados e revelação acidental ou intencional para pessoa não autorizada.

Sinal de dados

Um sinal que representa um conjunto de dígitos usados para levar informação, funções de serviço ou ambos e que pode incluir dígito de verificação.

Tempo de acesso

O intervalo de tempo entre o instante em que é iniciada uma chamada de dado e o instante em que a entrega do dado é completada. O tempo de acesso é igual ao tempo de latência mais o tempo de transferência.

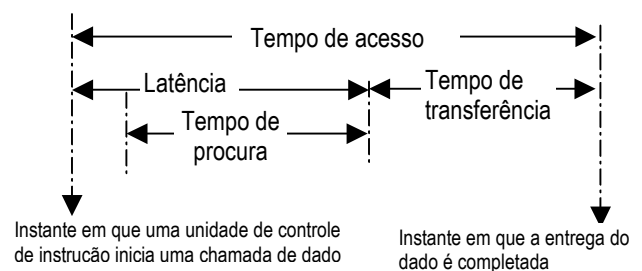



Fig.12.1. Intervalos de tempo para acesso do dado

Transferência de dados

O movimento ou cópia de dados de um local e a armazenagem dos dados em outro local.

Taxa de dados

A velocidade do processo de transferência de dados, normalmente expressa em bits por segundo ou bytes por segundo. Por exemplo, a taxa de dados default de um CD-ROM é 150 000 bytes por segundo. Bit por segundo é também chamado de **baud**.

Taxa de transferência de dados

O número médio de bits, caracteres ou blocos, por unidade de tempo, passando entre equipamento correspondente em um sistema de transmissão de dados.

Tempo de latência

Intervalo de tempo entre o instante em que uma unidade de controle de instrução inicia uma chamada de dados e o instante em que começa a transferência real dos dados. É o mesmo que tempo de espera.

Tempo de procura (seek time)

O tempo requerido para o mecanismo de acesso de um dispositivo ser posicionado na trilha correta. Mesmo que tempo de posicionamento.

Tipo do dado

As propriedades matemáticas e a representação interna de dados e funções. Os quatro tipos básicos são: inteiro, real, complexo e lógico. Um atributo usado para definir o dado como numérico ou caractere. Uma categoria que identifica as qualidades matemáticas e a representação interna dos dados. Em SQL, um atributo de colunas, constantes e variáveis mestres.

Transmissão de dados

O transporte de dados de um lugar para recepção em qualquer outro por meio de comunicação. Mesmo que comunicação de dados.

Troca de dados (*exchange*)

O uso de dados por mais de um programa ou sistema. O dado registrado ou transmitido em um formato é referido como troca de dado. Mesmo que *interchange*.

Truncação de dados

Truncação de um registro lógico pelo sistema de processamento da transação transmissor. A truncação ocorre quando o programa de transmissão da transação termina anormalmente ou encontra um erro enquanto enviando o registro; como resultado, quando o registro chega no receptor, o valor no campo do comprimento é maior que o comprimento real do registro. Diferente de **expurgo do dado**.

Utilidade da base de dados

Um programa para instalar, explorar ou manter uma base de dados como um inteiro. Por exemplo, programa para carregar (*load*), descarregar (*unload*), reconstruir, reestruturar, verificar consistência e fazer estatística.

Validação do dado

Processo usado para determinar se os dados estão imprecisos, inexatos, incompletos ou não razoáveis. O processo pode incluir verificações de formato, completude, razoabilidade, testes e limites.

A verificação de dados para correção ou conformidade com normas, regras e convenções aplicáveis.

Valor do dado

Em uma base de dados, um item do dado visto como um membro de um tipo de dado.

Verificação (check) de dados

Uma operação usada para verificar a qualidade e integridade dos dados. Uma indicação síncrona ou assíncrona de uma condição causada pelos dados inválidos ou pelo posicionamento incorreto dos dados.

2. Bases de dados tradicionais

Uma ferramenta poderosa para acessar, manipular e armazenar informação, a base de dados relacional (RDB – **R**elational **D**ata**B**ase) está se tornando rapidamente um forte elemento de sistemas usado em projeto e operações de processo industrial. Para efetivamente usar este ferramenta, deve se entender sua estrutura básica, vantagens e numerosas aplicações.

Muitos fatores contribuem para acelerar o uso de RDBs em uma variedade de aplicações de gerenciamento e controle de processo. Estes fatores são:

1. diminuição dos custos de equipamento (*hardware*),

2. aumento do desempenho dos computadores,
3. disponibilidade de programas (*software*) extremamente poderosos a preços razoáveis.

Muito flexível e bem adaptado para várias tarefas, o RDB é um veículo ideal para integrar informações diferentes.

Para melhor apreciar o modo que a informação é organizada em uma base de dados relacional (RDB), é importante conhecer algo acerca das bases de dados anteriores. Duas destas estruturas clássicas são o sistema de gerenciamento de arquivos e a base de dados hierárquica.

Sistema de Gerenciamento de Arquivos

A estrutura da base de dados de um sistema de gerenciamento de arquivos é uma analogia eletrônica de uma coleção de formulários de papel. A informação dentro do sistema de gerenciamento de arquivos é arranjada em um conjunto fixo, com formato de colunas e linhas. Cada linha representa uma entrada individual para a base de dados, enquanto cada coluna fornece um atributo que descreve e define a entrada.

Um exemplo de sistema de gerenciamento de arquivos é uma lista de mala direta. A primeira coluna lista os nomes da empresa, cada coluna subseqüente fornece mais informação sobre a empresa. Cada linha representa uma entrada completa para uma empresa. A informação nesta base de dados inclui produtos comprados por cada empresa, data da última compra, e assim por diante. Estes dados podem ser manipulados para enviar correspondência para uma empresa determinada ou grupos de empresas (classificadas por região ou por tipos de produtos).

Esta base de dados flat-file tem estrutura difícil de ser alterada. Correlações entre os dados são limitadas às apresentadas na estrutura básica. Continuando com a analogia do arquivo, seja o seguinte exemplo: Para achar um pedaço específico de informação relativo a uma entrada particular, o usuário deve achar eletronicamente a cabine de arquivo apropriada, e depois localizar o arquivo correto e achar a informação desejada dentro do arquivo.

Adicionar informação ao sistema de gerenciamento de arquivos é um processo difícil e pesado. Para fornecer informação adicional nesta base de dados, deve se modificar o formato básico para incluir a nova informação. Aplicações externas que foram usadas na estrutura original do arquivo também pode requerer modificação para refletir a adição. Uma tabela separada contendo dados adicionais não pode ser simplesmente adicionada à base de dados original, como feito com a base de dados relacional.

Base de dados hierárquica

A base de dados hierárquica é um sistema que pode ser tomado como uma coleção de desenhos de engenharia. Muito usada nas aplicações de manufatura envolvendo componentes e subconjuntos ou "listas de materiais", esta base de dados fornece uma estrutura pai-filho para os elementos e sub-elementos de um produto. Os dados são organizados para comparar (paralelar) as listas de material. Assim, é relativamente fácil navegar através da base de dados – especialmente para alguém que seja familiar com os itens contidos.

Como um exemplo, seja um conjunto de agitador que consiste de três elementos principais:

1. um impelidor
2. acionador com engrenagens
3. motor elétrico de acionamento

Estes são os itens pais. Movendo para baixo através da base de dados, o usuário recebe peças adicionais de informação acerca dos três elementos – estas informações são os filhos de cada um dos pais. O motor elétrico, por exemplo, poderia incluir um acoplamento do eixo, um motor de indução de 50 HP e um conjunto de partida.

Indo para mais baixo ainda na hierarquia, tem se informação mais detalhada ainda acerca de cada item. O usuário deve se mover mais para baixo para obter a informação requerida. Por exemplo, pode ser necessário mover para baixo, para outra camada, para determinar a especificação mecânica do acoplamento e para outra camada para achar o nome do vendedor e do parte número.

3. Aplicações de RDBs

Uma RDB é uma coleção de dados que é fácil de manipular e que não requer muito conhecimento de computador para usar. Tendo realizado que a RDB é mais que um sistema de arquivo glorificado, começa-se a integrá-la em muitas aplicações de engenharia.

Bases de dados relacionais apresentam uma poderosa habilidade para trabalhar com diversas aplicações. Através de uma programação de linguagem de alto nível, elas podem ser configuradas para facilmente trocar dados com outras aplicações. Os seguintes exemplos são usos comuns de RDBs na indústria petroquímica.

Bases de dados de informação

Uma grande variedade de bases de dados são comercialmente disponíveis. Estas bases de dados podem fornecer informação técnica, comercial ou científica. Muitas bases de dados possuem serviço de assinaturas que fornecem ao usuário informação atualizada disponível. Estes produtos são disponíveis tipicamente em formato dBASE que pode ser facilmente importado pela maioria dos produtos base de dados.

Aqui é importante diferenciar entre bases de dados e documentos. Uma base de dados tem campos definidos e pode ser perguntada de outra aplicação via uma Linguagem Perguntada Estruturada (Structured Query Language, SQL). Um documento não pode ser manipulado deste modo. Um documento eletrônico é literalmente um documento, que tipicamente fornece informação que é organizada com elos embutidos para facilitar a navegação e acesso; por exemplo, o usuário pode ser capaz de procurar por determinado passagens do texto com palavras chave.

Enquanto os dados de documentos podem ser exportados para outras aplicações como texto, eles não podem ser facilmente integrados com uma aplicação de base de dados. Materiais de referência, tais como manuais e documentação estão sendo continuamente fornecidos em CD-ROM com ferramentas e visores de navegação embutidos.

Célula de informações

A base de dados relacional pode ser usada como uma célula (*shell*) para coordenar a informação que está inerentemente relacionada mas armazenada em formatos diferentes ou talvez até em locais diferentes. Estes pacotes de células coordenam base de dados completa, desenhos CAD (Computer Aided Drawing), documentação em papel e informação de configuração para um sistema de controle de processo. Em resposta às perguntas, tal sistema fornece todos os documentos associados com esta pergunta e facilita o movimento entre eles.

Suporte de sistema de controle

Bases de dados estão geralmente sendo integradas em sistemas distribuídos de controle digital (SDCD) para centralizar a documentação e aumentar o controle da informação. Em SDCD, ferramentas de alto nível são geralmente empregadas para fazer tarefas como configurações de controle, relatórios, tendências históricas e interfaces.

Bases de dados estão sendo crescentemente empregadas para fornecer um repositório comum para dados do sistema, incluindo informação de equipamentos, definição entrada-saída e dados de sintonia. Uma base de dados relacional fornece uma infra-estrutura ideal. Ela pode ser interfaceada com várias ferramentas de alto nível usando SQL e pode importar informação de base de dados existente.

A importação é uma característica útil para a atualização de uma unidade existente. Por exemplo, a informação pode ser exportada como um meio de documentar o projeto existente. Uma lista de instrumento, por exemplo, poderia ser automaticamente gerada de dados referentes à configuração do sistema de controle.

Além disso, dada a facilidade com que uma base de dados relaciona pode ser modificada, ela pode ser estendida para incluir a informação relacionada que, enquanto importante para a instalação, não interessa para o sistema de controle. Por exemplo, dados de manutenção de analisadores, sensores e válvulas de

controle pode ser adicionados em tabelas, que podem depois ser usadas como apêndice para a base de dados do sistema de controle.

Este conceito pode ser estendido a uma base de dados relacional em linha. Integrando uma base de dados com o circuito do sistema de controle, qualquer alteração feita no sistema em linha, como alteração da sintonia, é capturada pela base de dados. Isto garante que uma imagem em tempo real do sistema seja constante e eletronicamente mantida para fins de documentação, análise e manutenção.

Controle de almoxarifado em tempo real

Assim como uma base de dados pode monitorar atividades relacionadas com a configuração de um sistema de controle em linha, ela também pode monitorar estoque de matéria prima, produtos e peças de reposição. Por exemplo, em um processo batelada (*batch*), como um controlador de batelada orquestra a adição de materiais, a realimentação negativa várias balanças e medidores pode ser monitorada por um computador residente no circuito do SDCD.

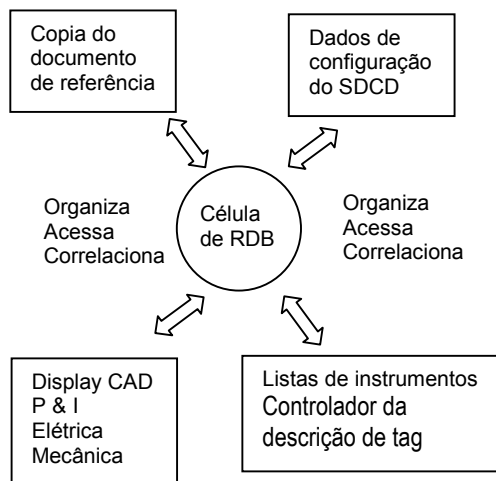



Fig. 12.19. Documentação da planta coordena diferentes tipos de dados (Descon Eng., Walnut Creek, CA)

Depois da realização de cada operação, o material usado pode ser debitado de uma base de dados do inventário, via chamadas SQL do computador do SDCD. Quando os estoques atingem um nível de gatilho, ou seja, um específico nível baixo, a base de dados do inventário pode fazer várias coisas, tais como:

1. pedir novos materiais,
2. interagir com o sistema de programação
3. substituir matérias primas equivalentes.

A substituição de matéria prima pode ser usada, por exemplo, em aplicações de aciaria, onde várias combinações de sucatas podem ser usadas e onde a carga exata da matéria prima é variável, dependendo do custo e disponibilidade da sucata.

4. Estrutura da RDB

Baseada na teoria de conjuntos da matemática, a RDB é a mais avançada das estruturas de base de dados. Ela dá ao usuário uma grande flexibilidade de procura e é mais fácil e mais conveniente para usar que outros tipos de base de dados. Diferente de outros sistemas gerenciadores de arquivos ou base de dados hierárquica, a RDB não emprega estruturas rígidas de pai-filho.

O elemento básico de uma RDB é a tabela. Cada tabela dentro da base de dados tem um único nome. Uma tabela consiste de colunas e linhas. Cada coluna representa um campo de dados particular ou *atributo*, cada linha representa uma entrada particular ou *registro*. Por exemplo, em uma lista pessoal, colunas podem listar titulo, divisão e turno. Cada linha pode representar um empregado particular.

Simplesmente em uma coleção de dados relacionados, uma tabela pode consistir de quantas colunas e linhas necessárias para especificar os dados. Uma base de dados, por sua vez, pode conter quantas tabelas quanto for necessário para definir conjuntos de informação relacionados. Colunas específicas de uma tabela não são únicas dentro da base de dados; elas podem aparecer em muitas outras tabelas.

Certas colunas, conhecidas como colunas chave, correlacionam dados através de várias tabelas. Elas ajudam o usuário encontrar diferentes dados não

localizados dentro de uma única tabela. Por exemplo, duas colunas chave poderiam ser “parte número” e “nome tag do instrumento”. Usando um parte número, um usuário poderia acessar dados técnicos de uma tabela e dados comerciais de outra tabela, dentro de uma mesma base de dados. O engenheiro poderia então instruir a base de dados para combinar as informações técnicas e comerciais de duas tabelas para gerar um pedido de peças de reposição.

Com colunas chave, um usuário pode manipular dados de várias tabelas para fornecer correlações que não são disponíveis dentro de uma única tabela. Como outro exemplo, seja uma aplicação envolvendo os sensores e válvulas associadas com um sistema de controle em um processo químico. Cada entrada para o sistema e cada saída do sistema é identificada com um nome de tag alfanumérico.

Uma grande variedade de informação está associada com cada entrada e saída, mas nem todas são requeridas por um único usuário. Assim, a base de dados poderia conter tabelas separadas, cada um fornecendo dados relevantes para um usuário específico. A informação pertinente ao controlador, terminais da fiação, sensores de campo, relatórios de calibração e relatórios de manutenção poderia ser armazenada cada uma em tabelas separadas.

Desta maneira, toda informação é armazenada dentro da base de dados mas cada usuário tem somente de interagir com a parte que lhe é pertinente. Todas as tabelas porém têm uma coluna com titulo “nome do tag”, que é uma coluna chave para facilitar a correlação entre as várias tabelas, quando necessário.

Um usuário pode manipular dados de várias tabelas para fornecer novas correlações. É fácil adicionar tabelas para incorporar nova informação na base de dados, usando a relação chave-coluna.

As tabelas de uma base de dados são independentes entre si. Assim, elas pode ser adicionadas ou apagadas, quando necessário, sem afetar as outras. Por exemplo, para facilitar um preenchimento de peças de reposição, pode se incorporar uma tabela que contenha parte números e custos dos itens. Esta tabela funcionaria agora como as tabelas já existentes.

Tal tabela com peças de reposição poderia facilmente ser adicionada à base de dados existente sem afetar sua estrutura ou operação. De fato, usuários nem tomariam conhecimento que esta base de dados foi alterada a não ser que eles fossem informados da existência da nova tabela.

As principais vantagens da RDB sobre sistema de gerenciamento de arquivos e base de dados hierárquica são:

1. A informação pode ser correlacionada entre tabelas sem modificar a estrutura da base de dados original.
2. A RDB permite correlações que não poderiam ser feitas de outro modo dentro de tabelas específicas.
3. Tabelas podem ser adicionadas ou apagadas, estendendo a funcionalidade da aplicação sem mudar a estrutura.

Os dados contidos em vários campos consistem tipicamente de números, textos, hora, data e outro tipo de informação. Algumas bases de dados incorporam informação de áudio e gráfica, bem como desenhos técnicos, fotografias e até descrições verbais, que muitas vezes constituem toda a informação do usuário acerca do processo.

Os desenvolvedores de base de dados embutem características para facilitar o uso da RDB. Por exemplo,

1. campos são definidos para garantir um certo nível de consistência de formatação de entrada para entrada.
2. a função de verificação de validade garante que o usuário não entra com texto em um campo numérico ou que somente um operador lógico apropriado é entrado em um campo lógico.

5. Interação com base de dados

Os usuários devem ser capazes de acessar e manipular a informação, quando necessário. Os principais tipos de interações que podem ser feitas são os seguintes:

Pergunta (Query)

Pergunta (query) é uma instrução de computador para interrogar uma base de dados. Este é um requisito para os dados satisfazerem certas condições. Uma pergunta tipicamente requer lógica, computação matemática, seleção e classificação pela base de dados. A resposta da base de dados a uma pergunta, chamada de conjunto de dados (dataset), pode simplesmente ser apresentado ou exportado para outra aplicação, por exemplo, para gerar um relatório escrito.

Entrada e apagamento de dados

Os dados podem ser entrados, atualizados ou deletados de uma base de dados. Estas ações são a entrada e apagamento de dados de tabelas estabelecidas e não a modificação da estrutura da base de dados em si.

Um usuário pode entrar e deletar dados através de um de dois modos:

1. na base *ad hoc*
2. em grandes quantidades.

O termo ad hoc se refere a uma entrada ou apagamento especifico ou relativamente pequeno, como uma modificação de uma única informação na tabela.

Programas de aplicação podem também importar dados em e exportá-los de uma base de dados com relativa facilidade. Um exemplo é um sistema de rastreamento de inventário que atualiza campos apropriados quando um novo embarque de materiais é recebido.

Definição de base de dados

Isto se refere à modificação da estrutura interna da base de dados através da adição e apagamento de tabelas (e suas colunas e linhas componentes). A definição da base de dados também inclui a segurança e integridade dos dados, englobando limitação de acesso, proteção de campos e procedimentos de check de erro.

6. Componentes de uma RDB

Uma RDB consiste de três partes:

1. Uma *máquina* de base de dados que organiza os arquivos que constituem a base de dados.
2. Uma *máquina* de interface que fornece um veículo para entrar, manipular e extrair dados da estrutura estabelecida pela máquina de base de dados.
3. Um conjunto de ferramentas para definir as aplicações.

Uma máquina de base de dados define as estruturas internas de base de dados e como elas são organizadas para armazenar no disco rígido. A máquina define os procedimentos de procura para diminuir os tempos de acesso e gerencia a alocação do disco.

A máquina de base de dados também vê a confiabilidade, como a verificação de arquivos duplicados e redundância de dados. Tipicamente, todas as funções da máquina da base de dados são transparentes para o usuário, ou seja, o usuário não sabe que estas tarefas estão sendo executadas, desde que elas não interfiram com o seu trabalho.

Uma máquina de interface permite ao usuário interagir com a base de dados. A máquina de interface mais comum é SQL. Oferecida com a maioria dos produtos base de dados, SQL é uma linguagem que suporta acesso interativo e programado.

O acesso interativo ajuda o usuário fazer perguntas ad hoc diretamente na base de dados. O usuário entra com comando SQL na linha de prompt na base de dados, que responde com a informação solicitada. Um exemplo de tal pergunta ad hoc seria uma interação do usuário via terminal com um sistema de peças de estoque.

O acesso programado, por outro lado, permite a base de dados ser acessada dentro de outro pacote de programa. Por exemplo, seja um programa tipo planilha de dados com acesso SQL embutido. Um usuário pode gerar um relatório através do programa sem acessar diretamente a base de dados. Quando o programa de planilha é usado, o SQL subalterno acessa a base

de dados para obter os dados requeridos para o relatório.

SQL não é um pacote isolado. Ele sempre existe como um subconjunto de outra aplicação, tal como base de dados, planilha, desenho CAD. Embora originalmente desenvolvida na IBM, SQL evoluiu em um padrão independente do vendedor. A versão baseada no programa desenvolveu-se em uma norma suportada pela ANSI/ISO e X/Aberta. O objetivo final é fazer SQL portátil através de sistemas, porém, SQL atualmente deve ser personalizada para diferentes plataformas de equipamento. Códigos de erro e tipos de dados, entre outros itens, devem ser definidos para atingir o nível desejado de portabilidade.

Enquanto SQL é a máquina subalterna, os conjuntos de ferramentas minimizam ou eliminam a necessidade de falar esta linguagem de programação. Os conjuntos de ferramentas são veículos que facilitam a estrutura de uma base de dados e a interação com uma base de dados.

Tipicamente, um conjunto de ferramentas é constituído de algo acionado pelo mouse, célula de apontar e clicar em torno dos comandos SQL marcados. O usuário não vê os comandos discretos mas indiretamente os executa. Este tipo de célula simplifica grandemente a interação com a base de dados, análoga a uma transmissão automática mudando as marchas do carro.

7. Importância das ferramentas

Os conjuntos de ferramentas variam muito entre as bases de dados, quanto à flexibilidade das ferramentas e facilidade de uso. Quando escolher um de vários pacotes disponíveis, os usuários geralmente consideram os conjuntos de ferramentas.

Manter em mente, porém, que um conjunto de ferramentas não deve ser um fator decisivo na seleção de um pacote. Muitos conjuntos de terceiros podem suplementar as ferramentas faltantes. Outros aspectos, tais como plataformas suportadas e desempenho da máquina de base de dados subalterna são geralmente os fatores decisivos na seleção final da base de dados. Exemplos de ferramentas são os seguintes:

Vistas

Esta é uma janela pré definida na base de dados que mostra os dados para entrada e acesso. Uma vista permite ao usuário interagir com uma base de dados sem comandos SQL. Uma única vista pode incorporar informação de muitas tabelas de base de dados.

Usando vistas, um programador pode montar uma forma na tela através da qual um usuário interage com a base de dados. Isto simplifica grandemente o uso e elimina a necessidade de aprender a estrutura subalterna da base de dados ou os comandos SQL. Uma vista é estruturada de modo que o usuário deve interagir somente com a porção da base de dados que lhe interessa, simplificando o uso e fornecendo um elemento potencial de segurança.

Como muitas aplicações de base de dados são contrapartidas eletrônicas de documentos previamente usando formas de papel, uma vista pode ser estruturada duplicando o formato de entrada familiar. Seja, por exemplo, uma lista de instrumento consistindo de vários campos de informação, como nome de tag, faixa, nível de sinal e número de terminal. Esta informação pode ser previamente coletada de formulários de papel padronizados. Uma vista que duplica este formulário minimiza o tempo para aprender a aplicação, enquanto oferece as vantagens de mover esta aplicação para uma base de dados.

Relatórios

Um relatório fornece um veículo para executar uma questionário pré definido e resumir o conjunto de dados resultante de acordo com as necessidades do usuário. Muitas bases de dados possuem ferramentas poderosas para gerar relatórios mostrados no monitor ou impressos, que permitem ao usuário facilmente estruturar relatórios que envolvam classificação, seleção, computação matemática ou operações estatísticas.

Por exemplo, seja um sistema de controle de inventário que rastreie peças de reposição e materiais de consumo. Um relatório pré definido e periódico pode questionar a base de dados para itens

necessários para recompra. Este relatório pode ser rodado manualmente ou executado automaticamente por um computador, que geraria as ordens de compra necessárias.

Query builders

Eles simplificam a interrogação ad hoc de uma base de dados fornecendo um ambiente com menus para questionários de estrutura. Questionários são muitas vezes invocados dentro de um ambiente apontar e clicar. A base de dados pode verificar cada questionário para erros, garantindo a legalidade dos comandos do usuário.

Macros

Grandes bases de dados permitem ao usuário estruturar um macro para a interação na base de dados. Um macro é uma coleção de comandos freqüentemente usados que é executa por uma única teclada ou por uma combinação curta de apertos de teclas. Os macros servem para tornar curtas as seqüências repetitivas, tediosas e onerosas.

Utilidades

Elas são ferramentas úteis que podem ser embutidas na base de dados ou adicionadas através de um conjunto de ferramentas de uma terceira parte. Elas incluem coisas como fazedores de gráficos e visão geral (overview) compreensiva da base de dados.

Linguagens de alto nível

Além da SQL, muitas bases de dados incorporam uma linguagem de mais alto nível para facilitar a personalização das aplicações de base de dados. Exemplos destas linguagens são: Visual Basic, C, C++, que podem ser suportadas por uma base de dados. Estas linguagens não devem ser usadas para programação de rotina, mas permitem ao programador ter funções que seriam obtidas somente através de outras ferramentas da base de dados, como questionários, vistas e relatórios.

8. Explosão da base de dados

Enquanto a base de dados relacional é uma ferramenta poderosa, sua aplicação crescente nas industrias de processo não seria possível sem os desenvolvimentos paralelos em computador e nas tecnologia de comunicação. Não é coincidência que as aplicações de base de dados fossem praticamente limitadas na era do computador de grande porte (mainframe)

O aumento do desempenho do processador, na capacidade de armazenamento em disco rígido e na velocidade de acesso melhorou o desempenha da base de dados muito mais que as melhorias do pacote sozinhas poderiam ter. A tendência atual para arquiteturas de computador RISC (Reduced Instruction Set Computer) e ambientes de operação multitarefa irão acelerar ainda mais o desempenho da base de dados.

O condutor real atrás da explosão em aplicações de base de dados, porém, é a evolução das arquiteturas cliente-servidor e as comunicações através de plataformas. Grande demais para ser contida em um único equipamento, a base de dados da indústria de processo se esparramou em configurações distribuídas. Esta distribuição necessita de comunicações entre sistemas e plataformas diferentes e divergentes.

Mesmo se um sistema é baseado em um protocolo aberto de comunicação, seus componentes não podem necessariamente negociar informação livremente. Protocolos padronizados somente vão até itens específicos, como meio físico, acesso ao meio, detecção de erro e correção e roteamento de mensagem. Eles promovem o movimento confiável de um grande pacote de informação de um ponto a outro. Porém, assim que este pacote chega em uma extremidade da rede, seu conteúdo deve ser interpretado - um usuário não pode simplesmente se ligar a um circuito aberto e obter os dados.

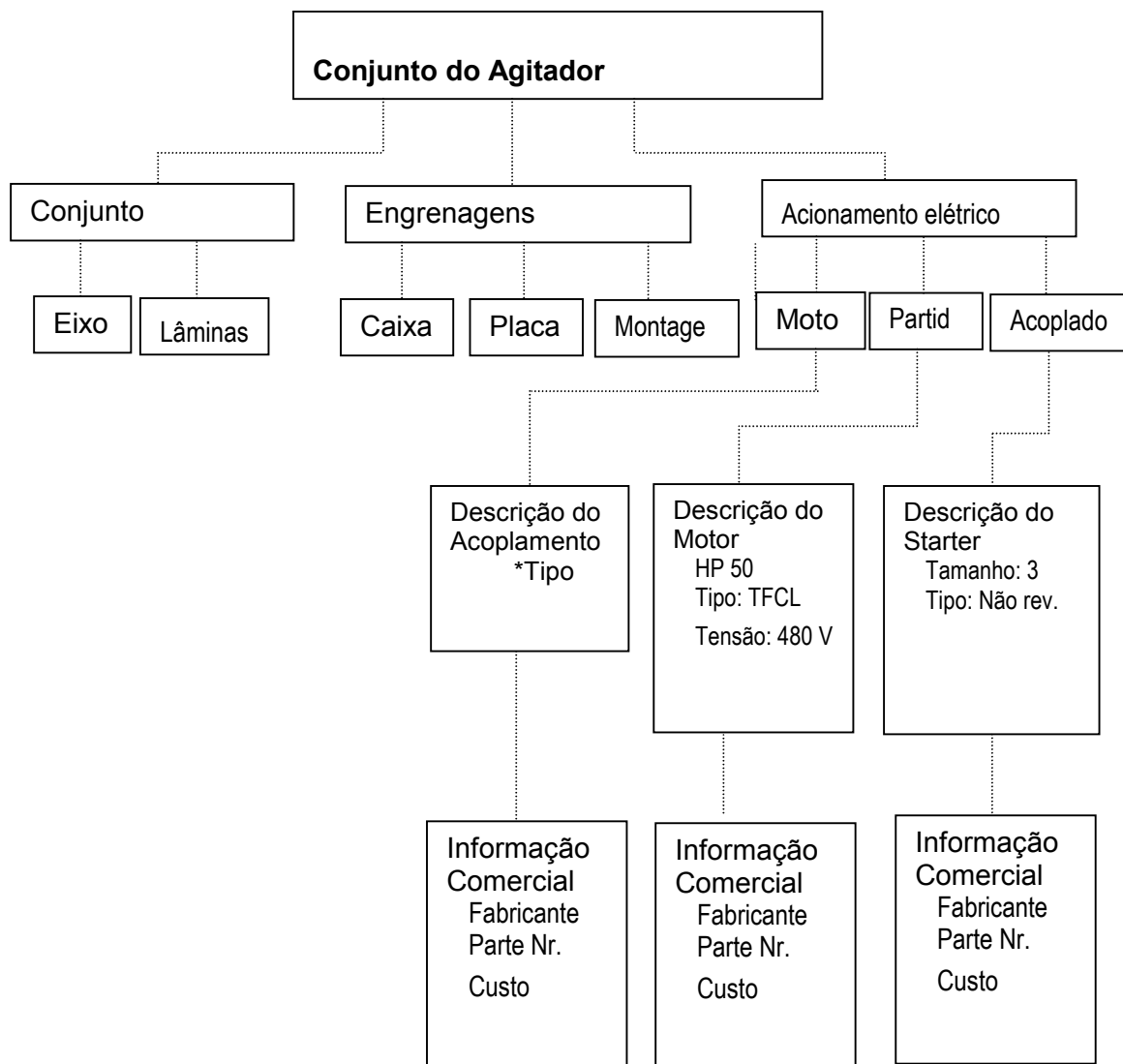



Fig. 12.20. Nesta base de dados hierárquica hipotética, um usuário deve andar para baixo na estrutura da base de dados para obter a informação comercial de uma particular starter de motor. O usuário não pode ir diretamente para a informação comercial, como é possível em uma base de dados relacional.

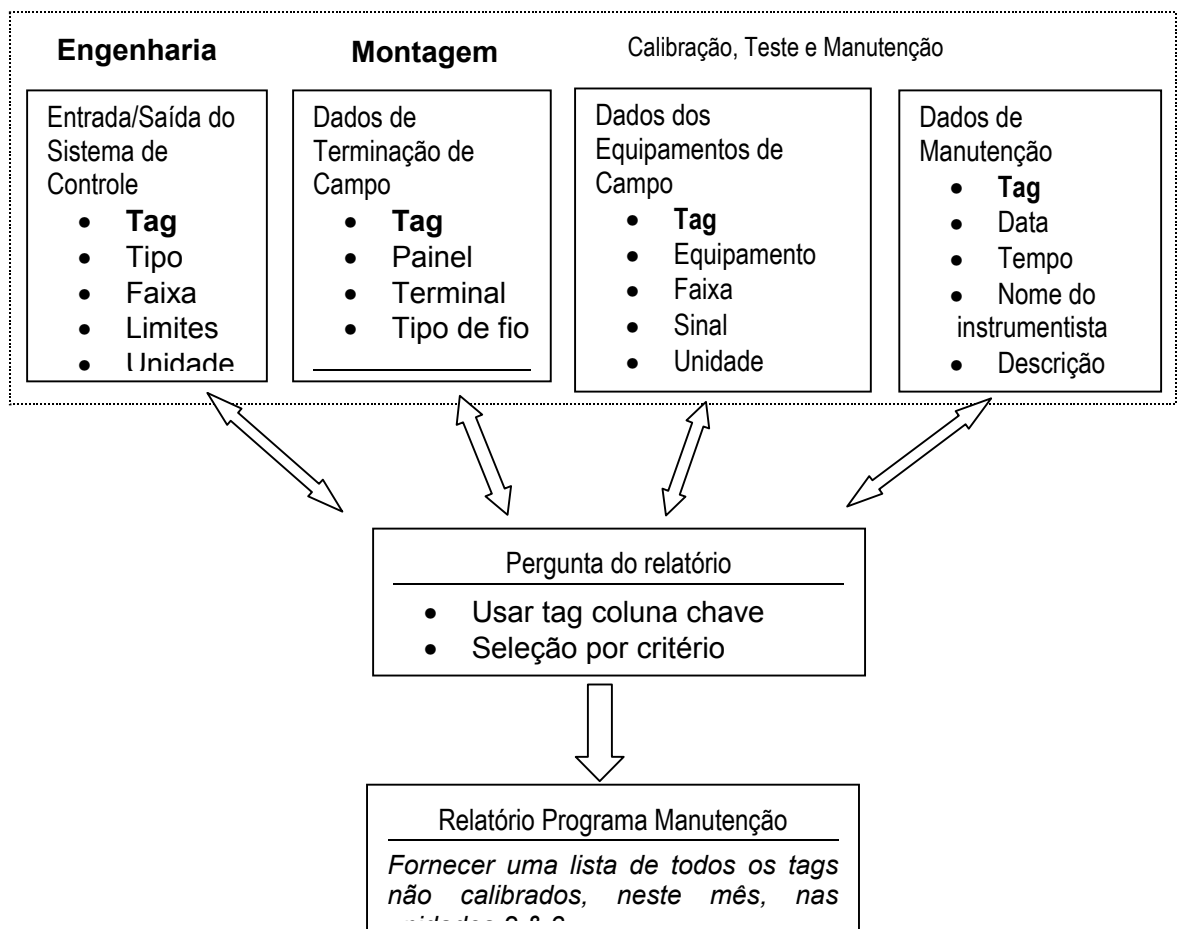



Fig. 12.21. Uma RDB, que incorpora tabelas específicas, é perguntada para um subconjunto de informação – neste caso, todos os instrumento s não calibrados durante o mês passado nas unidades 2 e 3.

Bases de dados e outras aplicações podem ser retratadas como tendo a configuração de sete camadas estabelecida pela ISO/OSI. Para haver comunicação entre duas aplicações, por exemplo, uma base de dados e um sistema de controle, um pacote de informação percorre para baixo as camadas da base de dados através de uma rede de área local (LAN) e vai até as camadas do sistema de controle.

Mesmo a comunicação entre bases de dados não é direta. Cada base de dados grande tem seu próprio meio de comunicação com um circuito, algumas usam seus próprios protocolos, enquanto outras empregam padrões abertos. Algumas estruturas podem facilmente ser compartilhadas entre bases de dados, enquanto outras requerem uma camada de programas de aplicações para fazer esta tarefa. Para facilitar a comunicação, deve se considerar com cuidado o conjunto de ferramentas de importar-exportar da base de dados e, se necessário, suplementá-lo.

Aplicações como controle de estoque se baseiam pesadamente no circuito de controle como um veículo para interagir com o processo. Neste caso, deve se considerar o equipamento e as aplicações.

Com relação ao equipamento, a interface física do SDCD (por exemplo, acesso ao equipamento) é muito importante. Deve haver uma variedade de entradas em um SDCD. Interfaces variam de portas seriais em controladores individuais até interfaces LAN com sistemas de controle baseados em PCs e estações de trabalho.

Com relação às aplicações, considerar a informação disponível via circuito. Onde a informação reside e como ela é acessada é definido na interface de programação da aplicação do sistema. Estas interfaces variam. Em alguns sistemas, os usuários acessam a informação com um questionário especificamente com palavras, em outros, um simples nome de tag é suficiente. Alguns sistemas requerem que o usuário requisite a informação, enquanto outros distribuem a informação automaticamente.

É importante salvaguardar a integridade de informação em um circuito de SDCD. Desde que um grande volume de dados viaja entre diferentes componentes diferentes do sistema neste ambiente, várias rotinas de segurança e de verificação devem ser usadas.

9. Base de dados em tempo real

Uma base de dados em tempo real é o coração do nível da aplicação de gerenciamento de dados em tempo real. Esta aplicação é ligada ao SDCD e CLP via interfaces dedicadas e permite capturar os valores do dados do processo em uma base de tempo real (ao vivo). Estas interfaces geralmente tem capacidade de ler/escrever (*read/write*). Na maioria dos SDCD's modernos, a interface consiste em uma API (Interface de programa de aplicação), que se comunica com o *gateway* do computador fornecido pelo fabricante de SDCD. Este *gateway* do computador evita a sobrecarga do SDCD para adquirir dados do processo, de modo que o tempo de resposta do SDCD é preservado.

A aplicação de RTDB permite coletar valores de dados do processo de vários SDCD's, CLP's, analisadores em linha, sistema de monitoração de máquina rotativa, ao mesmo tempo. Estes dados são historizados em disco, usando algoritmos de compressão, para preservar a capacidade do disco rígido. A qualidade dos dados é avaliada pela aplicação de RTDB, usando status do valor reportado pelo SDCD ou usando as faixas de valores definidas para cada tag dentro da aplicação. Cada valor do tag é associado com um status de valor, que pode ser:

- Indisponível (elemento de captura desligado)
- Bom
- Ruim
- Fora de faixa

Muitas aplicações de RTDB oferecem funções padrão que podem ser usadas em linha para calcular valores médio durante determinado período de tempo, calcular fórmulas específicas (correções de pressão e temperatura, taxas de conversão ou indicadores de desempenho), achar desvio padrão associado à repetitividade.

Muitas aplicações de RTDB também oferecem acesso e funções gráficos dos dados, que permitem ao usuário acessar os valores dos dados em linha e os valores

dos dados historizados e gerar tendências (dinâmicas e estáticas), esquemas e relatórios, todos em um ambiente cliente/servidor.

Uma aplicação de RTDB deve prover uma função de gerenciamento completo dos dados, assim que ele chega do processo, bem como garantir suas disponibilidade, acessibilidade e qualidade. Uma arquitetura correta da Automação torna possível a disponibilidade e acessibilidade de bons dados em toda a planta.

É recomendável se ter uma rede Ethernet dedicada para manipular o tráfico da coleta de dados do processo, de modo que nenhuma aplicação de usuário possa causar problema de comunicação entre os nós de aquisição e o Servidor RTDB. A arquitetura distribuída de aquisição permite a coleta de dados através de toda a planta e é geralmente favorecida, em termos de segurança e desempenho, quando comparada com a arquitetura centralizada. A carga da aquisição de dados em uma arquitetura distribuída é esparramada em todos os nós de aquisição que existem e são redundantes em PC's ou computadores de grande porte (DEC VAX) e assim a carga do servidor RTDB é limitada pelas tarefas do disco de ler e escrever. A arquitetura distribuída também fornece um filtro (buffer) em caso de falha da rede ou do servidor RTDB. O servidor RTDB é acessível ao nível de aplicação de gerenciamento da informação via rede da planta.

10. Reconciliação de dados e balanço de material

O balanço de produção fornece um suporte para as operações de gerenciamento, operação, manutenção, na avaliação, custo e relatório de desempenho das taxas de produção, eficiências, consumo interno da energia (óleo, vapor, eletricidade, ar comprimido), níveis de estoque e uso químico.

Na utilização dos dados, pode ocorrer dois problemas:

1. os dados são inconsistentes, ou seja, o balanço não fecha
2. os instrumentos falham ou dão leitura errada

A reconciliação dos dados fornece um modo consistente de resolver estes problemas em linha e apresentar um conjunto de dados reconciliados a todos os usuários. Quanto maior o numero de dados e maior a redundância da medição, mais exata deve ser a função de reconciliação. As necessidades são:

1. Programas de reconciliação de dados
2. Balanços de massa e energia
3. Precisão da medição dos instrumentos

O cerne da função de balanço é o processo de reconciliação dos dados que transforma valores brutos e não reconciliados obtidos dos dados históricos da RTDB, laboratório e outras bases de dados próximas do dia do balanço. A reconciliação dos dados é um componente chave da melhoria da confiabilidade e consistência interna dos balanços em torno de unidades definidas do processo e áreas da planta. O método de reconciliação dos dados usa as medições (inclusive as redundantes) de vazão, temperatura, pressão, composição no limite da unidade. A função reconciliação dos dados processa estes dados em uma seqüência lógica usando dados redundantes e a s melhores medições disponíveis no nó (medidor, tanque ou *header*), unidade do processo ou área. A saída desta função é a produção de uma informação exata e confiável de um balanço diário de material, inventário, energia e consumo químico. Obtém-se o balanço final do material de todas as unidades e tanque por massa e vazões volumétricas. Uma aspecto importante é que o processo de reconciliação não altera os valores originais deixando uma auditoria de ajustes feita pelo usuário. A confiabilidade e exatidão das operações de balanço e custo são grandemente melhoradas e as transferências de custodia são precisamente conhecidas.

Apostilas\Automação Integração.doc 03 ABR 99 (Substitui 03 NOV 97)

Monitoração e Controle do Processo

1. Controle de Processo Contínuo e Discreto
2. Controle Batelada (Batch)
3. Alarme e Intertravamento
4. Anunciador de Alarme
5. Operação do Processo

13

Controle do Processo

Objetivos de Ensino

1. *Conceituar malha de controle, aberta ou fechada*
2. *Apresentar as três ações de controle: Proporcional, Integral e Derivativa.*
3. *Listar e conceituar os parâmetros que afetam a controlabilidade.*
4. *Conceituar os controles envolvendo mais de uma variável, como cascata, faixa dividida, auto-seletor e relação de vazões.*
5. *Definir a natureza do controle lógico de processo com variáveis discretas.*
6. *Explicar como um processo com estados discretos pode ser descrito em termos de objetivos e equipamento do processo.*
7. *Construir uma tabela de símbolos de diagrama ladder com uma explicação da função de cada símbolo.*
8. *Desenvolver um diagrama ladder da descrição narrativa de uma seqüência de eventos de um sistema de controle com estado discreto.*
9. *Descrever a natureza de um controlador lógico programável e como ele é usado em controle de processo de estado discreto.*

1. Controle Contínuo

1.1. Introdução

Todo processo possui um fluxo de material, energia ou ambos. O fluxo de material ou energia é manipulado sob o comando de um controlador cujo objetivo é manter a variável do processo em um valor desejado; este valor é chamado de ponto de ajuste (set point). Por exemplo, um controlador de nível de um tanque manipula a vazão do líquido que entra no tanque, um controlador de pressão manipula a vazão de gás na entrada da esfera e um controlador de temperatura manipula a vazão de vapor da serpentina que passa no interior do vaso.

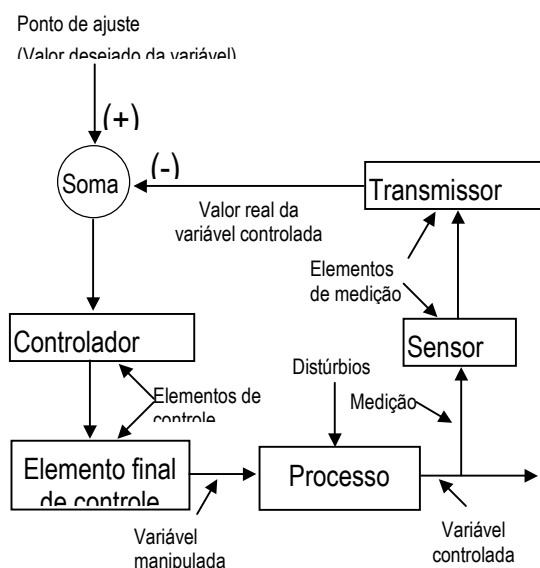



Fig. 13.1. Malha de controle fechada genérica

1.2. Malha aberta ou fechada

No capítulo da medição, foi visto como vários instrumentos são ligados juntos para formar malhas de medição e controle. A Fig. 11.1. mostra uma forma genérica de malhas de controle das Fig. 11.1 e 11.2. Todas estas figuras ilustram a informação do controle automático percorrendo um circuito fechado. Este arranjo é chamado de controle de malha fechada.

O ponto de ajuste, que é ajustável, é colocado na unidade de soma, tipicamente por um operador da planta. A medição do valor real da variável controlada do processo é também colocada na unidade de soma. Esta unidade compara os dois valores do ponto de ajuste e da medição real e a saída resultante representa o erro de controle, a quantidade pela qual o valor real da variável controlada se desvia do valor ideal. Este erro é o que o controlador tenta eliminar ou, pelo menos, minimizar.

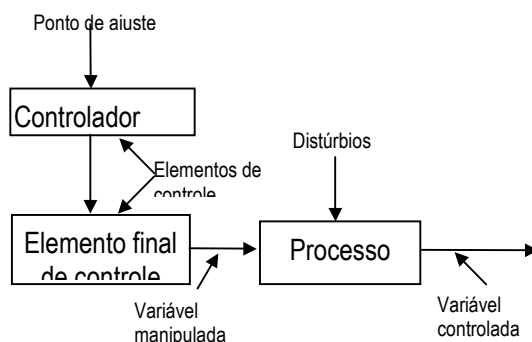



Fig. 13.2. Malha aberta de controle genérica

A unidade somadora, na maioria dos casos, está dentro do controlador e na minoria, está separada.

Os elementos de medição, que podem ser separados ou combinados, são chamados de elementos de realimentação negativa (feedback) por que eles alimentam a informação do estado da variável controlada de volta para o somador de modo que haja ação corretiva.

A maioria das malhas de controle na indústria é do tipo de malha fechada. Outro tipo de malha, sem realimentação, é o de malha aberta. Este arranjo é conhecido como controle de malha aberta, mostrado de forma genérica na Fig. 11.2.

O exemplo típico de controle de malha aberta é o controle manual. Um operador de processo pode encher um tanque, manter constante uma temperatura ou manter uma vazão através do controle manual. Ele tem sempre que se manter alerta, lendo a informação acerca do nível, temperatura ou vazão em algum instrumento de indicação próximo.

Ainda é possível se ter controle de malha fechada sem a realimentação negativa mas baseado em outra estratégia. Um exemplo é o sistema de mistura automática de duas substâncias em uma proporção fixa, como 33% de A e 67% de B. O controlador recebe as medições das duas vazões, o operador ajusta no controlador a razão da mistura (1:3) e o controlador manipula a vazão de A, resultando em uma mistura das duas substâncias. O sistema não mede a composição da mistura para garantir que ela foi feita na proporção desejada.

Tipicamente, um controlador automático possui uma estação manual associada de modo que o operador possa cortar o controle automático e passar para o controle manual do sinal de saída.

1.3. Ações de Controle

Para um controlador automático em uma malha fechada manter uma variável de processo igual ao ponto de ajuste, ele deve saber se a variável está no valor correto. Mas uma resposta SIM ou NÃO é insuficiente e o controlador deve saber, no mínimo, se a variável está acima ou abaixo do ponto de ajuste. Para um melhor controle, o controlador deve saber o valor da diferença entre a medição e o ponto de ajuste. Em outras palavras, o controlador deve saber o valor do erro. Para um controle melhor ainda, o controlador deve saber a duração do erro existente. E para um controle melhor possível, o controlador deve saber a velocidade de variação da variável controlada.

Estes vários refinamentos do controle implicam nos modos de controle, que podem ser os seguintes:

1. controle binário
2. controle proporcional
3. controle integral
4. controle derivativo.

Controle liga-desliga

O controle liga - desliga, também conhecido como controle binário, on-off ou de duas posições, é o mais simples de todos os modos de controle. Ele é o mais curto e o menos adaptável de todos os tipos de controle embora ele seja adequado para muitos casos e é freqüentemente usado em plantas de processo. Ele é também o controle mais barato e é o tipo quase sempre usado em controle de temperatura de geladeira e condicionador de ar ambiente.

A saída de um controlador binário é ou **ligada** ou **desligada**. Seu valor depende dos seguintes fatores:

1. a direção do erro de controle
2. a ação do controlador, direta ou inversa.

A unidade de soma da Fig. 11.1 determina a direção do erro de controle, positivo ou negativo.

Seja o controle liga-desliga de temperatura do óleo de um tanque. O óleo é aquecido pelo vapor que passa por uma serpentina colocada dentro do tanque. Se a temperatura está baixa, o controlador abre totalmente a válvula de vapor; se a temperatura está alta, o controlador fecha totalmente a válvula. Não há vazão intermediária de vapor: a vazão é zero ou 100%.

No controle binário, a diferença do processo, a banda de operação, entre as ações **liga** e **desliga** é geralmente pequena, como por exemplo, a temperatura ambiente na sala. Porém, há casos onde a banda **liga-desliga** é intencionalmente feita grande de modo a minimizar a freqüência de operação do equipamento, como o motor da bomba. Este controle é feito na pressão do compressor do borracheiro. Há um ponto para ligar o compressor, por exemplo, 70 psi e um ponto para desligar o compressor, como 150 psi. Este tipo de controle é chamado de controle de *intervalo diferencial* (*differential gap*).

O controle binário é simplesmente uma ação de chaveamento e o mesmo instrumento pode ser usado para qualquer outra operação de chaveamento, como atuar um alarme. Assim o instrumento é identificado como uma *chave* e não como um *controlador*.

Quase todos sistemas de controle operam com cargas variáveis de processo. A carga do processo é a quantidade de material ou energia que deve ser manipulada para controlar a variável controlada. A carga depende se o sistema está operando na capacidade máxima, intermediária ou mínima e de todos os fatores que influem na variável controlada, exceto a variável manipulada.

O controle binário é teórica e praticamente incapaz de manter a variável controlada dentro de uma dada faixa de operação para mais do que uma carga de processo. Para outras cargas, a banda se move para cima ou para baixo, dependendo se carga está aumentando ou diminuindo. O deslocamento da banda de controle é chamado de *desvio permanente* (*offset*, que é pequeno ou grande, dependendo do tamanho da variação da carga).

O desvio permanente é a razão porque uma casa controlada por um termostato que tenha uma isolação ruim requer que o ponto de ajuste seja aumentando manualmente para manter a casa confortável quando o tempo se torna mais frio. O termostato é um controlador binário cuja banda de operação tem caído por que a carga de aquecimento da casa foi aumentada.

Controle Proporcional

O controle proporcional, também conhecido como controle de uma única ação ou modo, fornece uma saída modulada que pode ter qualquer valor entre o mínimo (0%) e o máximo (100%) da faixa da saída. O valor depende de vários fatores, como:

1. direção e tamanho do erro de controle,
2. ganho ou sensitividade do controlador
3. ação de controle direta ou inversa.

Os controladores e processos, como as pessoas, são sensíveis em diferentes graus. Quando se diz algo que não agrada uma pessoa e ela se irrita, ela é considerada muito sensível. Quando se diz a mesma coisa a outra pessoa e ela não se perturba, ela é menos sensível. Quanto

maior a sensitividade, maior é a reação a um estímulo de entrada.

Sensitividade é geralmente expressa em termos de ganho proporcional ou simplesmente ganho. Ganho é o equivalente à quantidade de reação dividida pela quantidade de estímulo. Ganho é definido como a variação da saída correspondendo a uma dada variação de entrada dividida pela variação da entrada. Para a maioria dos controladores, o ganho proporcional é ajustável.

Em controladores analógicos, é comum se usar o termo banda proporcional em lugar de ganho proporcional. Banda proporcional é o inverso do ganho ou a divisão da entrada pela saída. A banda proporcional é expressa em percentagem.

Um controlador cuja saída varia de 10% de seu valor inicial quando a entrada varia de 8% do seu valor inicial tem um ganho de 1,25 ou banda proporcional de 80%. Se a mesma variação de entrada de 8% causa uma variação na saída de 4%, o controlador tem ganho de 0,5 e banda proporcional de 200%.

O termo ganho se aplica a outros instrumentos diferentes do controlador. Uma malha fechada de controle também possui um ganho.

A válvula de controle possui um ganho. O sinal de entrada da válvula vem da saída do controlador. Se o sinal de entrada da válvula varia de 5 para 7 psi (aumento de 40%) e causa uma variação de saída de 100 para 120 m^3/h (aumento de 20%), então o ganho da válvula é de 0,5 ou 10 m^3/h por psi.

O processo também possui um ganho. Se a entrada de vapor para um aquecedor d'água varia de 10 000 para 12 000 kg/h causando uma variação da temperatura d'água de 100 a 200 ^oC, o ganho do processo (aquecedor) é 0,010 ou 1 ^oC por 100 kg/h.

Substituindo o controlador binário da Seção 4.2.1. por um controlador proporcional, se a temperatura do óleo está um pouco baixa, o controlador faz a válvula de vapor abrir um pouco; se estiver muito baixa, o controlador faz a válvula abrir mais ainda. Se a temperatura estiver um pouco acima do valor desejado, o controlador faz a válvula fechar um pouco, se estiver muito acima, a válvula fecha muito. Nas condições normais, a saída do controlador é modulada, a válvula de controle modula a vazão de vapor e sempre há alguma vazão de vapor.

Como o controlador binário, o controlador proporcional é sujeito ao desvio permanente (offset) e é incapaz de manter a variável controlada igual ao ponto de ajuste em mais do que uma carga de processo. O desvio permanente é a razão pela qual um sistema controlado por termostato esfria mais no inverno do que no verão. Neste caso, o termostato é um regulador auto-atuado que fornece somente controle proporcional.

Controle Proporcional mais Integral

O controle proporcional mais integral é também conhecido como controle de dois modos, controle PI e controle automático reset. O modo integral é também chamado de controle flutuante (floating control). Como para o controle proporcional, a saída do controlador é modulada, mas o valor da saída depende dos seguintes fatores:

1. a direção, magnitude e duração do erro de controle
2. o ganho do controlador, que depende do ganho proporcional e o ganho integral, ambos ajustáveis.
3. a ação do controlador, direta ou inversa.

Usando o controlador PI para a temperatura do óleo, este controlador faz o mesmo que o controlador proporcional mas ele tem uma característica a mais. Assumir que a temperatura do óleo esteja baixa. A saída do modo proporcional pede um aumento da vazão do vapor, que deve subir e levar a temperatura para o ponto de ajuste. Se a temperatura permanece baixa, o modo integral gradualmente se soma à saída e a válvula abre um pouco mais. Enquanto o erro permanecer, o modo integral se mantém somado à saída, a válvula se mantém abrindo e a temperatura finalmente atinge o ponto de ajuste. O erro de controle agora é zero, de modo que o controlador está satisfeito, a saída permanece constante e a vazão de vapor se mantém constante até que a temperatura do óleo seja perturbada de novo. Assim, o sistema de controle ainda responde ao desvio do ponto de ajuste. A

ação adicional do modo integral reforça a ação do modo proporcional em qualquer direção, subindo ou descendo.

Por causa da ação integral, este controlador não possui desvio permanente de controle. Em qualquer nova carga estável, o controlador retorna a variável controlada para seu ponto de ajuste., diferente do controle liga-desliga ou do controle proporcional.

Controle Proporcional mais Integral mais Derivativo

O controle proporcional mais integral é também conhecido como controle de três modos ou controle PID. O modo derivativo é também chamado de controle de variação (*rate control*). Um controlador PID modula sua saída, cujo valor depende dos seguintes fatores:

1. direção, magnitude e duração e taxa de variação do erro de controle
2. ganho do controlador, que depende do ganho proporcional, ganho integral e ganho derivativo, todos ajustáveis.
3. ação do controlador, direta ou inversa.

Usando o controlador PID para a temperatura do óleo, este controlador faz o mesmo que o controlador PI mas ele tem uma característica a mais. O modo derivativo altera a saída do controlador de acordo com a velocidade de variação do erro de controle. Se o erro não estiver variando, a ação derivativa não faz nada. Se o erro varia lentamente, a ação derivativa muda a saída um pouco durante a variação do erro. Se o erro varia rapidamente, a ação derivativa faz uma grande variação na saída do controlador durante a variação do erro. O objetivo da ação derivativa é o de dar um reforço à ação corretiva do controlador, especialmente quando a variável controlada estiver variando rapidamente. Portanto, a ação derivativa tende a evitar o erro se tornar muito grande antes que a ação proporcional e integral possam reganhar o controle. A ação derivativa é usada principalmente para sistemas lentos. Para controlar a temperatura do óleo com um controlador PID, se a temperatura cair abaixo do ponto de ajuste lentamente, o controlador age muito pouco, como um controlador PI. Se a queda é rápida, a ação para aumentar a abertura da válvula de vapor vem principalmente das ações proporcional e derivativa. Isto reduz a velocidade da queda e faz a ação derivativa se tornar menos importante. Enquanto isso, por causa do desvio prolongado do ponto de ajuste, a ação integral, que depende da duração do desvio, se torna mais importante. Finalmente, a temperatura é trazida de novo para o ponto de ajuste e permanece lá, o efeito derivativo cai para zero e a saída do controlador e a vazão de vapor se mantém em regime no ponto de ajuste.

Controlabilidade do processo

Os quatro modos de controle discutidos: liga-desliga, proporcional, integral e derivativo são os mais usados. Suas respostas estão resumidas na Tab. 11.1.

A escolha do controle binário ou modulado e dos modos de controle proporcional depende da dificuldade de controle do processo. Quanto mais fácil é o processo para ser controlado, mais simples é o controlador usado para. Um processo que varia raramente é fácil de ser controlado e pode ser manipulado satisfatoriamente com controle manual, considerando a possibilidade má operação ou de não operação por causa da falha humana. Quanto mais difícil é o processo para ser controlado, mais complexos são o controlador e os seus ajustes.

Os fatores que afetam a facilidade de controle estão mostrados na Tab. 11.2 e explicados abaixo. Os fatores de processo que influenciam a controlabilidade do processo são os itens 1 a 10. Os fatores do instrumento são os itens 11 a 13.

Tab. 13.1. Respostas ao erro do controlador

Modo de controle	Direção	Magnitude	Duração	Taxa de variação
Binário (on-off)	*			
Proporcional (P)	*	*		
Integral (I)	*	*	*	
Derivativo (D)	*	*		*
PI	*	*	*	
PD	*	*		*
PID	*	*	*	*

Tab. 13.2. Fatores Afetando a Controlabilidade do Processo

Aumentando do fator do processo	Efeitos na facilidade de controle
(1) Desvio permissível do ponto de ajuste	Ajuda
(2) Magnitude da variação da carga	Piora
(3) Taxa de variação da carga	Piora
(4) Não linearidade do processo	Piora
(5) Resistência	Piora
(6) Capacitância	Ajuda
(7) Tempo morto	Piora
(8) Ruído do Processo	Piora
(9) Variação do ambiente	Piora
(10) Queda de pressão na válvula de controle	Ajuda
Aumentando Fator do Instrumento	**Efeitos na facilidade de controle**
(11) Não linearidade da medição	Piora (maioria dos casos)
(12) Característica errada da válvula	Piora
(13) Ruído do sinal	Piora

1.4. Fatores do Processo

Desvio permissível do ponto de ajuste

O controle exato da variável controlada às vezes é importante e às vezes não é. Quanto menor a exigência, maior é o desvio permanente aceitável para o ponto de ajuste e mais fácil é o controle. Principalmente em controle de nível, um grande desvio do nível é geralmente planejado para possibilitar ao tanque absorver as variações bruscas não controladas na entrada e saída do tanque sem causar a vazão manipulada variar também bruscamente. Este tipo de controle é chamado de controle de média.

Magnitude da variação da carga

Um processo tem vazão de material ou de energia. Quanto maior a faixa de variações da vazão entre o mínimo e o máximo, mais difícil é o controle.

Taxa de variação da carga

Se a vazão de material ou energia variar muito rapidamente, o controle é mais difícil.

Não linearidade do processo

Muitas bombas, trocadores de calor e processos químicos e malhas de controle operam de modo não linear. Isto significa que eles requerem quantidades variáveis da variável manipulada para manter a variável controle constante quando a carga de processo varia em quantidades iguais. As não linearidades existem porque as capacitâncias e resistências do processo variam com as variações de carga. As não linearidades são diferentes para processos diferentes. Selecionando a característica adequada da válvula permite ao processo ser mais linear e portanto mais fácil de ser controlado. Há também controladores PID não lineares específicos para sistemas de controle não lineares conhecidos, como o controle de pH.

Resistência

Esta é a característica que impede a vazão de material ou energia. Todos os materiais permitem o calor passar através deles, mas não igualmente bem. Alguns materiais conduzem mal o calor, eles possuem alta resistência e são chamados de isolantes termais. Por exemplo: borracha e lã. Outros materiais conduzem bem o calor, eles possuem baixa resistência e são chamados de condutores termais. Por exemplo, fio de cobre e colher metálica. A resistência termal depende do tipo e quantidade de material do caminho da vazão de energia.

Do mesmo modo, existem isolantes e condutores para a eletricidade.

O fluxo de materiais também pode ser inibido por uma resistência. Assim como uma rua estreita impede o fluxo do tráfico, assim uma tubulação com pequeno diâmetro oferece maior resistência à passagem do fluido no seu interior que uma tubulação com maior diâmetro. A resistência da vazão está relacionada com a queda de pressão na válvula [item (10) abaixo].

Capacitância

Capacitância é a propriedade de armazenar material ou energia. É definida como a variação da quantidade de material ou energia necessária para fazer uma variação unitária na variável do processo. Por exemplo, capacitância é o número de litros de água necessários para variar um nível do tanque por um metro. Em outras palavras, para fazer uma variação na variável controlada, alguma quantidade de variável manipulada deve ser fornecida ou removida; esta quantidade dividida pela variação é a capacitância.

Capacidade é a máxima quantidade de material ou energia que pode ser armazenada em um equipamento ou sistema.

A Fig. 11.3 mostra dois tanques tendo a mesma capacidade (72 m^3) mas com alturas diferentes (6 metros e 4 metros). Suas capacitâncias são diferentes:

1. a do tanque alto vale (72 m^3/6 m = 12 m^3/m)
2. a do tanque baixo vale (72 m^3/4 m = 18 m^3/m)

Quando se quer controlar o nível dos dois tanques, o processo é mais sensível no tanque alto (menor capacitância) do que no tanque baixo (maior capacitância). Para a mesma variação de volume em ambos os tanques, o nível no tanque alto terá uma maior variação. O tanque alto tem menor capacitância, resposta mais rápida e é

mais difícil de ser controlado dentro de uma dada faixa. Aumentando a capacitância para uma dada faixa de controle melhora a estabilidade da variável controlada em resposta a um distúrbio.

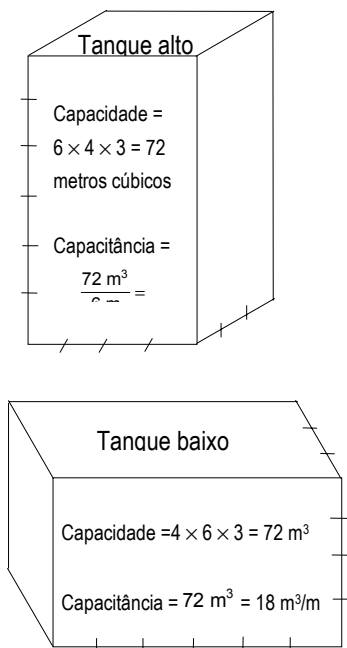



Fig. 13.3. Capacidade e capacitância do tanque

Tempo morto

O tempo morto é o período de atraso entre duas ações relacionadas e seqüenciais, tais como o início da variação da entrada e o início da variação da saída resultante. O tempo morto é chamado de *tempo de transporte* ou *tempo de atraso*.

Seja uma pessoa que toma banho de chuveiro, com aquecimento central da água. Ela fica de lado e abre a torneira de água quente. A água chega imediatamente mas, infelizmente, ela está muito fria. Vinte segundos mais tarde, a água começa a ficar morna e depois quente. A pessoa ajusta a temperatura e entra debaixo d'água.

Por que a pessoa tem de esperar tanto tempo para a água esquentar? É porque o chuveiro está distante do local onde está a água quente. Leva-se 20 segundos para água quente ir do tanque central para o chuveiro. Estes 20 segundos são o tempo morto.

O mesmo acontece em processos de planta, onde o resultado de um distúrbio ou alteração da operação deve primeiro ser sentida e depois, uma vazão de material ou energia deve ser alterada de acordo para conseguir um resultado de controle. O tempo morto em qualquer parte da malha de controle degrada o controle porque a ação corretiva não pode começar durante o período do tempo morto. Enquanto isso, o erro de controle está aumentando.

Em muitas aplicações, o tempo morto não é grande e não é realmente um problema. Em outros casos, especialmente em controle de análise, o tempo morto pode criar grandes dificuldades que requerem esquemas sofisticados de controle para superá-lo.

Ruído do Processo

Ruído é um distúrbio persistente que obscurece ou reduz a claridade ou qualidade de uma medição. Quando duas pessoas conversam em um ambiente com muito barulho (ruído) sonoro, é difícil o entendimento da conversa entre elas.

Do mesmo modo, pode haver ruído na vazão ou nível que se quer medir. O ruído do processo é criado pela turbulência do fluido, correntes parasitas, ondas, alta velocidade, que causam uma medição com distúrbio, mesmo quando a vazão está em regime. Pode haver um ruído audível, mas este ruído não afeta a medição, exceto possivelmente para certos instrumentos que sentem o som. Quanto maior o ruído do processo, mais difícil é o controle.

Para melhorar o controle de processos com muito ruído, pode-se colocar circuitos de filtro (supressão de ruído) na linha do sensor ou no circuito de medição.

Variação ambiental

Variações de um céu com sol ou com nuvens, do dia para a noite e do verão para o inverno afetam o controle de alguns processos por causa das variações resultantes de esfriar a temperatura da água ou dos efeitos termais sobre o equipamento do processo montado ao ar livre. Variações no vento ou umidade atmosférica afetam o desempenho de

equipamento que esfria a água por evaporação. Variações da pressão atmosférica afetam os instrumentos de pressão manométrica e assim afetam os valores de operação, especialmente em aplicações de baixa pressão.

Tais variações afetam a carga do processo, afetando os efeitos do controle.

Queda de pressão na válvula de controle

A facilidade de controle da válvula depende da queda de pressão permissível através dela. Quanto maior a pressão, mais fácil é o controle, porém, mais se gasta a energia do processo. Quanto menor a pressão através da válvula, maior é o tamanho da válvula e mais difícil é o controle da malha.

1.5. Fatores do Instrumento

Não linearidade da medição

O ganho, ou a relação saída/entrada de um sensor pode ser ou não ser linear. A não linearidade é causada pela relação básica da variável com a saída do sensor e independe da precisão do instrumento. A relação não linear clássica da instrumentação é entre a vazão e pressão diferencial provocada pela placa de orifício. A vazão é proporcional à raiz quadrada da pressão diferencial provocada pela restrição.

Instrumentos, circuitos ou programas de computadores podem ser usados para linearizar o sinal não linear. Linearizar um sinal não linear é aplicar a não linearidade inversa. Por exemplo, lineariza-se um sinal quadrático extraindo sua raiz quadrada; lineariza-se um sinal exponencial aplicando o logaritmo.

Característica incorreta da válvula

A característica da válvula de controle é a relação entre sua abertura (em %) e a vazão correspondente (em %). As três características mais usadas são: linear, igual percentagem e abertura rápida.

A escolha da característica da válvula depende da característica do processo, de modo que as não linearidades envolvidas sejam canceladas. Processo linear requer válvula com característica linear e processo não linear requer válvula com característica não linear inversa. Quando isto não ocorre, há problemas de não linearidades no processo final.

Ruído do sinal

O ruído do sinal, principalmente em sinais elétricos, degrada a qualidade da informação transportada pelo sinal, degradando a eficiência da malha de controle. O ruído elétrico pode ser causado pela interferência de outros sinais elétricos, linhas de alimentação, maquinas elétricas, disjuntores.

Para eliminar ou diminuir o ruído elétrico, devem ser tomadas precauções, incluindo o uso de blindagem e aterramento, pares de fios trançados, cabos coaxiais, separação das fiações de alimentação e de sinal, afastamento das fontes de ruído e terminação correta da fiação.

1.6. Sintonia do Controlador

Um controlador proporcional deve ser sintonizado para sua aplicação específica. Sintonia é o procedimento de ajustar a sensitividade de cada ação de controle e dos elementos dinâmicos auxiliares usados, para que o sistema de controle, incluindo o processo, forneça o melhor desempenho possível. Há procedimentos matemáticos e estudos de processo que podem ser usados para estimar os melhores ajustes preliminares de sintonia para um dado controlador. Na prática, os controladores são ajustados no campo por tentativa e erro e pela experiência. Mesmo quando se usam métodos sofisticados, a sintonia final resultante deve ser confirmada por tentativa de campo, com o controlador interagindo com o processo.

Atualmente são disponíveis controladores eletrônicos microprocessados com capacidade de auto-sintonia automática. Ou seja, o controlador é colocado na malha de controle, interage com o processo dinâmico e se ajusta automaticamente, cada modo assumindo seu valor ótimo.

1.7. Controle Multivariável

Os tipos de malhas de controle mostrados nas Fig. 11.1 e 11.2 são usados

em várias combinações importantes, como segue:

1. Relação
2. Cascata
3. Auto seletor
4. Faixa dividida (Split range)
5. Preditivo Antecipatório (Feedforward)

Cada uma destas combinações podem ser usada em conjunto com uma ou mais de outras combinações.

Fig. 13.4. Controle de Relação de Vazões

Relação

O controle de relação (ratio) é o controle da razão de duas variáveis de processo. Uma variável flutua livremente de acordo com as exigências do processo e chamada de variável livre (wild). A outra variável é proporcional à variável livre e é chamada de variável manipulada. Um processo como a mistura de gasolina (blending) usa o controle de relação para proporcionar vários componentes, usando diferentes relações para gasolina especial, gasolina aditivada ou gasolina premium.

A Fig. 11.4 mostra como um produto químico A é misturado com um produto B em uma proporção desejada. A é a variável livre e B é a vazão manipulada. As duas vazões são medidas por dois transmissores que informam a um computador analógico quais são as vazões instantâneas. O computador divide os dois sinais padrão provenientes dos transmissores e envia a saída para um controlador, que representa a relação. O ponto de ajuste do controlador é determinado para estabelecer uma relação fixa entre A e B, por exemplo 5/12. O controlador ajusta continuamente a vazão B, de modo que a mistura de A e B sempre contem 5 partes de A e 12 partes de B, independente de como a vazão A varia.

Cascata

O controle casta é aquele em que a saída de um controlador estabelece o ponto de ajuste de outro controlador. Seja o aquecedor de óleo que usa vapor para aquecer a serpentina para esquentar o óleo, como mostrado na Fig. 11.6(a). Este sistema pode fornecer um bom controle da temperatura do óleo se forem constantes:

1. pressão do vapor de aquecimento,
2. vazão de óleo
3. temperatura de entrada do óleo

Assim, o controle de temperatura deve ajustar a válvula de controle para passar exatamente a quantidade correta de vapor para manter a temperatura de saída do óleo igual ao ponto de ajuste e deve existir equilíbrio no aquecedor.

Porém, a pressão do suprimento de vapor flutua muito por causa do uso variável pelos outros clientes. A taxa de transferência de calor do vapor para o óleo depende da diferença entre a temperatura do vapor e a temperatura do óleo. A temperatura do vapor depende da pressão do vapor no aquecedor: quanto maior a pressão, maior a temperatura. Quando a pressão do suprimento de vapor sobe ou cai, o efeito imediato é alterar a pressão do vapor dentro do aquecedor. Isto aumenta ou diminui a diferença de temperatura entre o vapor e o óleo e, como conseqüência, o óleo se torna mais frio ou mais quente. Nenhuma correção é feita até que a temperatura seja sentida e o controlador de temperatura comece a reagir. Neste intervalo de tempo, sempre há um erro no controle de temperatura. O controle de temperatura é usualmente lento, de modo que o erro pode se tornar grande e pode permanecer por muito tempo.

O controle de temperatura pode ser melhorado pelo sistema de controle cascata, mostrado na Fig. 11.5 (b). Quando a pressão de vapor variar e causar variações na pressão interna do aquecedor, o controlador de pressão sente e reajusta rapidamente a válvula de pressão para levar a pressão para o ponto de ajuste. A malha de controle de pressão age mais rápido que a de temperatura e o retorno da temperatura para o ponto de ajuste é muito mais rápido. Assim, o efeito da flutuação da pressão de vapor é corrigido para uma dada carga do aquecedor.

(a) Malha de controle simples

(b) Malha de controle cascata

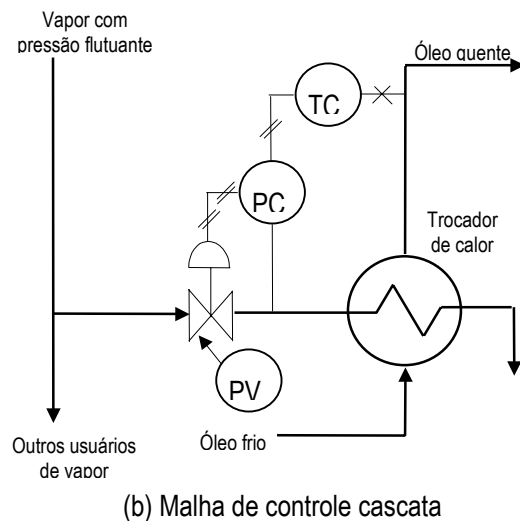
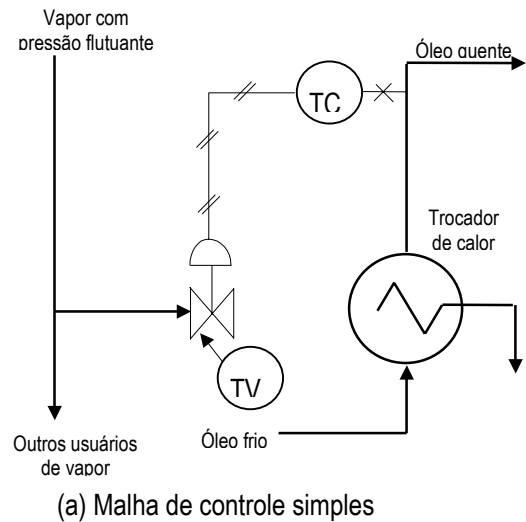



Fig. 13.5. Evolução para o controle cascata

Mas, o que acontece se a carga do aquecedor variar, ou seja, se a exigência de transferência de calor variar? A carga depende da vazão de óleo e sua temperatura de entrada. O controlador de temperatura sente a variação na temperatura do óleo quente e diz ao controlador de pressão para ir e ficar em uma nova pressão do vapor. O controlador de pressão possui um ponto de ajuste

remoto e automático. O controlador de pressão rapidamente altera a posição da válvula para uma nova pressão do vapor e ele continua a agir prontamente para corrigir a pressão sempre que ela flutuar. Porém, se as variações de carga são muito grandes e a exigência do controle é muito rigorosa, pode-se usar ainda outras estratégias de controle, como o controle preditivo antecipatório.

O sistema de controle cascata tem dois controladores a realimentação negativa mas apenas um único elemento final de controle. No exemplo, o controlador de temperatura tipifica um *controlador primário* ou *controlador mestre*. O controlador de pressão tipifica um controlador secundário ou controlador escravo. A malha de controle secundaria para a pressão pode ser olhada simplesmente como um elemento final de controle elaborado para o controlador de temperatura.

Uma exigência geral para todo sistema de controle cascata é que a malha de controle secundário seja muito mais rápida que a malha de controle primária. Se a malha secundaria não for muito rápida, ela tende a desestabilizar a malha de controle primária em vez de estabilizar e aparece a oscilação.

Auto seletor

O controle seletivo ou auto seletor usa dois controladores, mas somente uma válvula de controle ou outro elemento final, como o sistema de controle cascata, mas há uma grande diferença. O controle cascata possui um controlador que controla o outro. No controle seletivo, cada controlador é independente do outro. Qualquer um dos dois controladores pode estar em controle a qualquer tempo, mas quando um controlador está em operação, o outro está como reserva ou de *stand by*.

O conceito de controle seletivo ou auto seletor é explicado pelo exemplo na Fig. 11.6, que mostra um tanque cujo nível é controlado pela modulação da válvula de controle na linha de dreno de saída. A vazão do dreno do tanque é controlada usando-se a mesma válvula. Há duas exigências do processo:

1. o nível não pode ficar muito baixo
2. a vazão não pode ser muito alta

Quando o nível ficar muito baixo, o controlador de nível está normalmente em ação e corta a vazão. Quando a vazão estiver muito alta, o controlador de vazão está em ação e também corta o excesso de vazão. Sempre, a válvula toma a posição menos aberta dos comandos dos dois controladores.

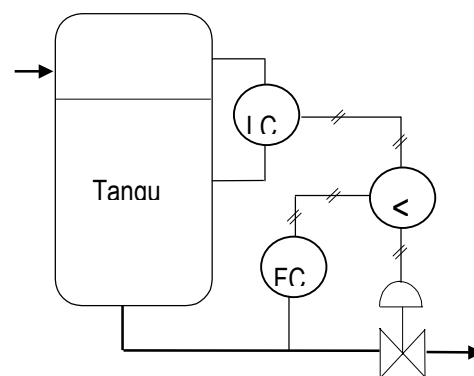
A escolha de qual controlador deve assumir o controle é feita automaticamente por um relé seletor, que faz uma transição suave de um sinal de entrada para outro. A função seletora deste relé pode ser incorporada ao circuito do controlador.

Este esquema evita nível muito baixo e vazão muito elevada

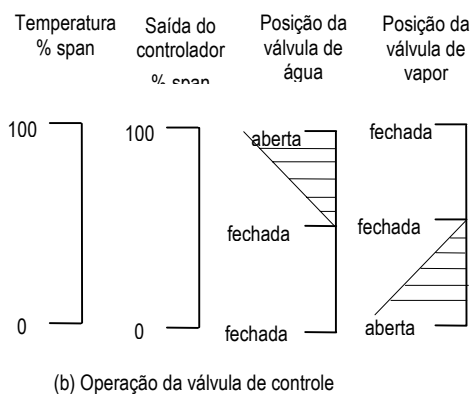
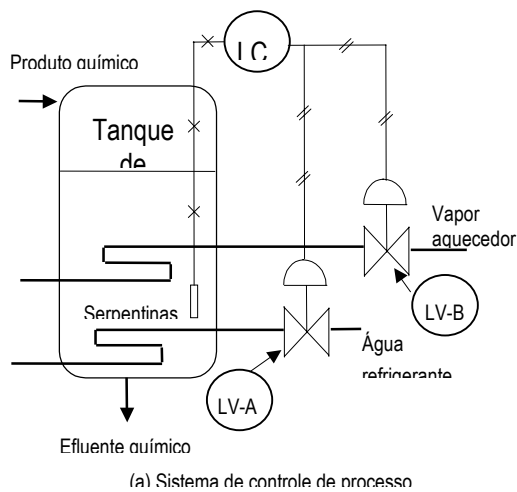
Fig.13.6. Controle auto-seletor

Faixa dividida (Split range)

O controle de faixa dividida usa um controlador e duas válvulas de controle, ambas moduladas. A Fig. 13.7 (a) mostra um esquema de controle de temperatura para um processo batelada (batch), usando um tanque de reação química que requer a temperatura de reação constante. Para começar a reação o tanque deve ser aquecido e isto requer uma vazão de vapor através da serpentina. Depois, a reação exotérmica produz calor e o tanque deve ser resfriado e isto requer uma vazão de fluido refrigerante, através de outra serpentina (poderia ser a mesma).

Fig. 13.7. Controle de Faixa Dividida

(a) Sistema de controle de processo

(b) Operação da válvula de controle

O controle suave da temperatura é conseguido pelo seguinte sistema básico:

1. a saída do controlador de temperatura varia gradualmente quando a temperatura do tanque aumenta
2. quando o controlador solicita que a válvula de aquecimento esteja totalmente aberta, a válvula de resfriamento deve estar totalmente fechada
3. quando o controlador solicita que a válvula de resfriamento esteja totalmente aberta, a válvula de aquecimento deve estar totalmente fechada
4. no meio do caminho, ambas as válvulas devem estar simultaneamente fechadas, de modo que não haja nem aquecimento nem resfriamento.
5. cada válvula se move de modo contrário e seqüencial à outra.

Este arranjo de controle é chamado de faixa dividida ou *split range*.

1.8. Conclusão

O controle contínuo é encontrado em indústrias de processo, tais como refinarias, petroquímicas, têxteis, siderúrgicas, mineração, alimentícia, farmacêutica. Ela tipicamente mede, controla e manipula as variáveis continuas temperatura, pressão, vazão, nível e análise. Em seu controle, o algoritmo básico usado é o bloco PID, Proporcional Integral e Derivativo.

O controle contínuo é uma operação essencial e matematicamente contínua. Para executar o controle contínuo é mais adequado usar instrumentação analógica, que naturalmente manipula sinais contínuos. Porém, atualmente há uma predominância da instrumentação digital e por isso, para fazer o controle contínuo, em algum lugar da malha de controle ou do controlador há conversores analógico para digital (A/D) e digital para analógico (D/A).

O controle contínuo das indústrias de processo é realizado por instrumentos pneumáticos e eletrônicos. Quando a indústria é pequena e o processo é simples, usam-se instrumentos isolados, tipo *single loop* e *stand alone*. Ainda hoje há plantas controladas por instrumentos pneumáticos, porém a tendência é se usar cada vez instrumentos eletrônicos, com tecnologia digital.

Quando a indústria é grande e o processo complexo, o controle é feito por sistemas de instrumentação, tipicamente o Sistema Digital Distribuído.

2. Controle Lógico

2.1. Conceito

A maioria das instalações de controle de processo industrial envolve mais do que simplesmente regular uma variável controlada. A exigência da regulação significa que alguma variável tende a variar de modo contínuo por causa de influências externas. Mas há muitos processos na indústria em que não é uma variável que deve ser controlada mas uma seqüência de eventos.

Esta seqüência de eventos tipicamente leva à produção de algum produto de um conjunto de matérias primas. Por exemplo, o processo para fazer torradeiras entra com vários metais e plásticos e sai com as torradeiras. O termo estado discreto expressa que cada evento na seqüência pode ser descrito pela especificação da condição de todas unidades de operação do processo. Tais descrições das condições são apresentadas com expressões tais como: válvula A está aberta, válvula B está fechada, esteira C está ligada, chave limite S_1 está ligada e assim por diante. Um conjunto particular de condições é descrito como um estado discreto de todo sistema.

Neste capítulo, será examinada a natureza do controle do processo com estado discreto. Além da natureza deste controle, uma técnica especial para projetar e descrever a seqüência dos eventos de processo, chamada de diagrama ladder será apresentada. O diagrama ladder apareceu do antigo uso de relés eletromecânicos para controlar a seqüência de eventos em tais processos. Sistemas de controle com relés atualmente são realizados com métodos baseados em computador, o mais comuns deles é o controlador lógico programável (CLP). As características e programação de CLP também serão estudadas nestes trabalho.

2.2. Definição de controle de processo com estado discreto

A Fig.11.8 é uma representação simbólica de processo de manufatura e o controlador para o processo. Todas as medições das variáveis de entrada (S_1, S_2, S_3) e das variáveis de saída (C_1, C_1, C_1) do processo são feitas e podem assumir apenas dois valores. Por exemplos, válvulas estão abertas ou fechadas, motores estão ligados ou desligados, temperaturas estão altas ou baixas, chaves limites estão fechadas ou abertas e assim por diante.

O estado discreto do processo, em qualquer momento, é o conjunto de todas os valores de entrada e de saída. Cada estado é discreto, no sentido que há somente um número discreto de estados possíveis. Se houvesses três variáveis de entrada e três variáveis de saída, então um estado consiste da especificação de todos os seis valores. Como cada variável pode assumir dois valores, há um total de 64 estados possíveis. (2^6).

Um evento no sistema é definido por um estado particular do sistema, ou seja, valor atribuído particular de todos os valores das variáveis de entrada e de saída. Um evento dura enquanto as variáveis de entrada permanecem no mesmo estado e as variáveis de saída são deixados nos estados atribuídos. Para um simples forno, pode-se ter a temperatura baixa e o aquecedor ligado. Este estado é um evento que dura até que a temperatura suba e fique alta.

Com estas definições em mente, o controle do processo com estado discreto é uma seqüência particular de eventos através da qual o processo atinge algum objetivo. Para um simples aquecedor uma seqüência poderia ser:

1. temperatura baixa, aquecedor desligado
2. temperatura baixa, aquecedor ligado
3. temperatura alta, aquecedor ligado
4. temperatura alta, aquecedor desligado

O objetivo do controlador da Fig. 13.8 é dirigir o sistema de estado discreto através de uma seqüência específica de eventos. Será visto agora como a seqüência de eventos é especificada e descrita e como

um controlador pode ser desenvolvido para direcionar a seqüência de eventos.

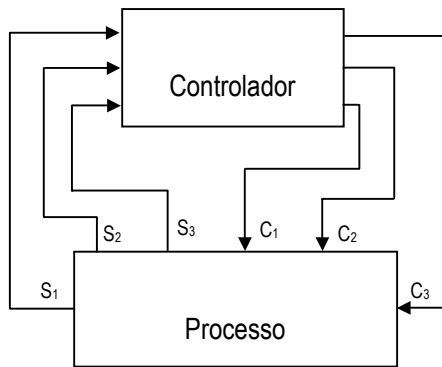



Fig. 13.8. Processo discreto e controlador

2.3. Características do sistema

O objetivo de um sistema de controle de processo industrial é fabricar algum produto de matérias primas de entrada. Tal processo tipicamente envolve muitas operações ou etapas. Algumas destas etapas devem ocorrer em série e algumas podem ocorrer em paralelo. Alguns destes eventos podem envolver o ajuste discreto dos estados na planta, ou seja, válvulas abertas ou fechadas, motores ligados ou desligados, contatos fechados ou abertos. Outros eventos podem envolver regulação de alguma variável contínua no tempo ou a duração de um evento. Por exemplo, pode ser necessário manter a temperatura em algum valor ajustado durante determinado intervalo de tempo. O sistema de controle de processo a estado discreto é o sistema de controle principal para a operação da planta inteira.

Exemplo: Geladeira - freezer

Usar as definições para construir uma descrição da geladeira com freezer mostrado na Fig.11.9. como um processo com um sistema de controle a estado discreto. Definir as variáveis de entrada, variáveis de saída e seqüência de eventos série ou paralelo.

Solução

As variáveis de entrada de estado discreto são:

1. porta fechada ou aberta
2. temperatura da geladeira alta ou baixa
3. temperatura do freezer alta ou baixa
4. tempo do temporizador de eliminação de gelo dentro ou fora
5. chave de potência ligada ou desligada
6. detector de gelo ligado ou desligado.

As variáveis de saída discretas são:

1. luz ligada ou desliga
2. compressor ligado ou desligado
3. temporizador eliminador de gelo iniciado ou não iniciado
4. aquecedor ou ventilador do eliminador de gelo ligado ou desligado
5. damper da geladeira aberto ou fechado.

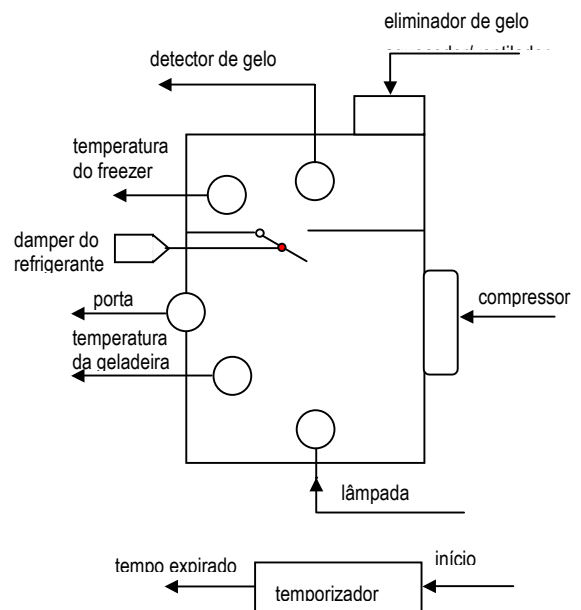



Fig.11.9. Sistema de controle geladeira - freezer

Há um total de 11 variáveis de dois estados. Em princípio, há 2^{11} = 2048 possíveis eventos ou estados. Obviamente, apenas alguns destes são necessários, A seqüência de eventos é a seguinte:

1. Se a porta estiver aberta, a luz deve acender.

2. Se a temperatura da geladeira estiver alta e o eliminador de gelo estiver desligado, o compressor é ligado e o *damper* é aberto até que a temperatura da geladeira caia.
3. Se a temperatura do congelador estiver alta e o eliminador de gelo estiver desligado, o compressor é ligado até que a temperatura caia.
4. Se o detector de gelo estiver ligado, o temporizador é iniciado, o compressor é desligado e o aquecedor/ventilador de eliminador fica ligado durante um intervalo de tempo, até que o tempo seja expirado.

O evento (1) pode ocorrer em paralelo com qualquer outro. Os eventos (2) e (3) podem ocorrer em paralelo. Os eventos (4) pode ocorrer somente em série com (2) ou (3).

2.4. Variáveis de estado discreto

É importante ser capaz de distinguir entre a natureza de variáveis em um sistema de estado discreto e as variáveis em sistemas de controle contínuo.

Controle contínuo

Seja o nível de líquido em um tanque, como na Fig.11.10. O tanque possui uma válvula que controla a vazão de entrada no tanque e a vazão de sua saída é livre. Há um sensor para detectar o nível do tanque, ligado a um controlador, cujo objetivo é o de manter o nível constante e igual a um valor pré ajustado (ponto de ajuste).

O controlador opera de acordo com algum modo de controle para manter o nível constante, mesmo havendo variações induzidas de influencias externas. Assim, se a vazão de saída aumenta, o sistema de controle irá aumentar a vazão de entrada para compensar o aumento da saída. O nível é assim **regulado**. Este é um sistema de controle contínuo porque tanto o nível como a abertura da válvula podem variar sobre uma faixa contínua. Mesmo se o controlador estiver operando de modo liga – desliga, há ainda uma regulação da variável, embora o nível oscile agora quando a válvula de entrada é aberta ou fechada para compensar a variação da vazão da saída.

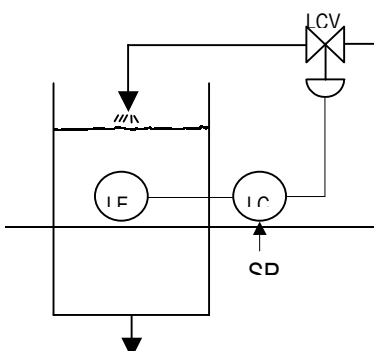



Fig. 13.10. Controle contínuo de nível

Controle de estado discreto

Seja agora o problema anterior revisado. Tem-se a mesma situação da Fig. 13.11, porém os objetivos são diferentes e as variáveis, nível e ajuste, são discretos porque agora eles podem assumir somente dois valores. Isto significa que a válvula pode somente estar aberta ou fechada e o nível está acima ou abaixo do ponto de ajuste.

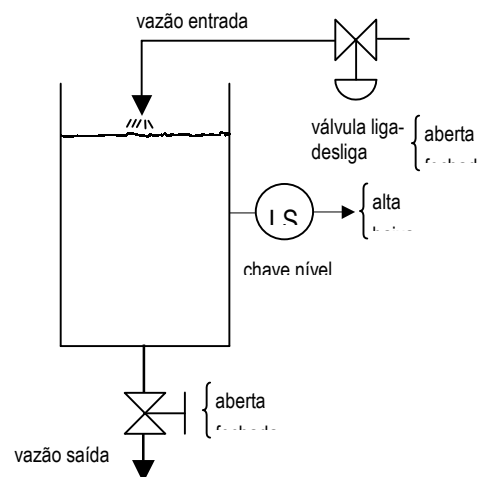



Fig. 13.11. Controle discreto de nível

Agora o objetivo é encher o tanque até um certo nível sem vazão de saída. Para fazer isto, especifica-se uma seqüência de evento:

1. Fechar a válvula de saída
2. Abrir a válvula de entrada e deixar o tanque encher até o nível desejado, como indicado por uma chave.
3. Fechar a válvula de entrada, quando o nível atingir o valor desejado.

O nível certamente não vai se alterar até quando, em algum momento mais tarde, a válvula de saída é aberta e há vazão de saída. Notar que as variáveis - medição de nível, ajuste da válvula de entrada e ajuste da válvula de saída – são quantidades de dois estados. Não há

medição contínua ou saída contínua sobre uma faixa.

Controle composto: discreto e contínuo

É possível para um sistema de controle contínuo ser parte de um sistema de controle de processo com estado discreto. Seja ainda o exemplo do sistema de tanque da Fig. 13.10. Neste caso especifica-se que a válvula de saída está fechada e o tanque se enche até o nível requerido, como na Fig. 13.11. Pode-se agora especificar que periodicamente uma garrafa vai para debaixo da válvula de saída. O nível deve ser mantido no ponto de ajuste enquanto a válvula de saída estiver aberta e a garrafa cheia. Esta exigência pode ser necessária para garantir uma coluna de líquido constante durante o enchimento da garrafa.

Este processo irá requerer um sistema de controle contínuo usado para ajustar a vazão de entrada durante o enchimento da garrafa através da válvula de saída. O sistema de controle contínuo será ligado ou desligado como um equipamento discreto. Pode se ver que o processo de controle contínuo é justo uma parte do processo de estado discreto.

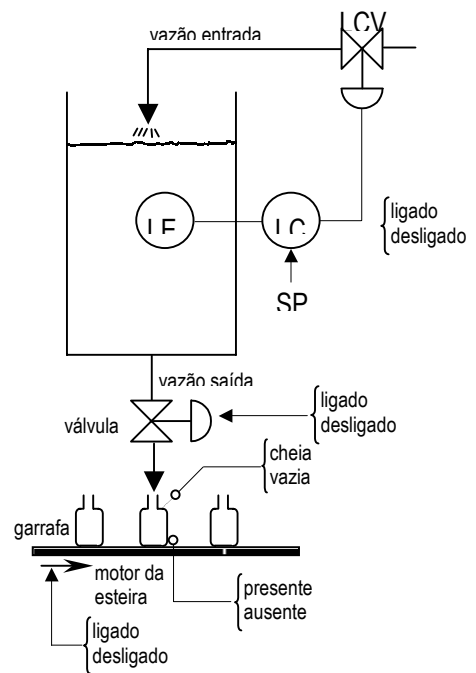



Fig. 13.12. Controles contínuo e discreto

2.5. Especificações do processo

A especificação da seqüência de eventos em algum processo de estado discreto é diretamente ligada ao processo em si. O processo é especificado em duas partes:

1. objetivos do processo
2. natureza do equipamento para conseguir os objetivos

Para participar no projeto e desenvolvimento de um sistema de controle para o processo é essencial entender estas duas partes.

Objetivos do processo

Os objetivos do processo são simplesmente as declarações do que o processo deve fazer. Os objetivos são usualmente associados com o conhecimento da industrial. Às vezes, um objetivo global é definido como o resultado final da planta. Este é depois quebrado em objetivos individuais, geralmente secundários e independentes para o qual o controle é aplicado.

Por exemplo, em uma indústria de alimento, o objetivo global principal é produzir bolachas. Claramente, isto significa que a planta toma várias matérias primas, processa-as de um modo especifico e a saída são bolachas embaladas, pesadas, etiquetadas, prontas para venda.

O objetivo global pode ser dividido em muitos objetivos secundários. A Fig. 13.13 sugere alguns objetivos secundarias que podem ser envolvidos. Pode ainda haver subdivisões em operações mais simples. Os objetivos do processo são formados pelos objetivos de cada parte independente da operação global. Assim, as operações dentro da preparação da bolacha podem ser vista como um único processo.

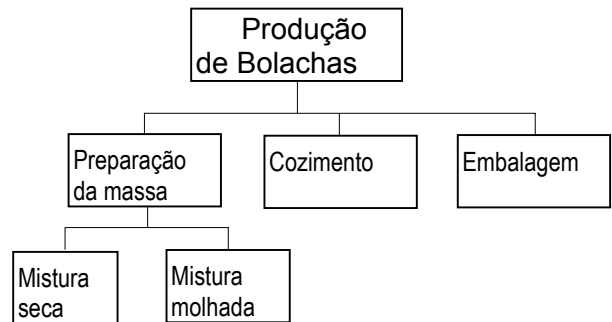



Fig. 13.13. Objetivos e sub objetivos de um processo

O especialista de controle de processo não é responsável tipicamente pelo desenvolvimento dos objetivos, que é responsabilidade do especialista da indústria envolvida. Assim, quem desenvolve os objetivos de uma indústria química é o engenheiro químico, para a indústria de produção de aço, o engenheiro metalúrgico, para a indústria de alimento, o engenheiro químico de alimento.

Equipamento do processo

Depois de estabelecidos os objetivos do processo, vem o projeto do equipamento para realizar estes objetivos. Este equipamento está ligado intimamente à natureza da indústria e seu projeto deve vir dos esforços combinados do pessoal de produção , processo e controle. Para o especialista do sistema de controle, o essencial é desenvolver um bom entendimento da natureza do equipamento e suas características.

A Fig. 13.14 mostra uma representação pictorial do equipamento de processo para um sistema de esteira. O objetivo é encher caixas, movendo as em duas esteiras, de um silo de alimentação comum e um sistema de esteiras de material. O especialista de controle de processo pode não estar envolvido no desenvolvimento deste sistema. Para desenvolver o sistema de controle, deve-se estudar o equipamento cuidadosamente e entender as características de cada elemento.

Em geral, o especialista analisa o equipamento e considera como cada parte está relacionada com o sistema de

controle. Há realmente apenas duas categorias básicas:

1. Equipamentos de entrada **para** o sistema de controle. A operação destes equipamentos é similar à função de medição de sistema de controle contínuo. No caso de controle de processo a estado discreto, as entradas são especificações de dois estados, tais como:
   Chave limite: aberta ou fechada
   Comparador: alto ou baixo
   Botoeira: acionada ou não acionada
2. Equipamentos de saída **do** sistema de controle. O elemento final de controle do sistema de controle contínuo fazem a mesma coisa. No caso de controle de processo a estado discreto, os equipamento de saída aceitam somente comandos de dois estados, tais como:
   Lâmpada: acesa ou apagada
   Motor: operando ou parado
   Solenóide: energizada ou desenergizada

Um estudo do sistema da Fig. 13.15 mostra a seguinte distribuição de elementos:

Dispositivos de entrada (Chaves)

- Caixa direita presente
- Caixa esquerda presente
- Limite do movimento da esteira de alimentação direita
- Limite do movimento da esteira de alimentação esquerda
- Silo baixo
- Esteira de alimentação do centro

Dispositivos de saída

- Válvula solenóide do silo
- Motor esteira de alimentação desligado
- Motor esteira de alimentação direita
- Motor esteira de alimentação esquerda
- Motor esteira da caixa direita
- Motor esteira da caixa esquerda

Não é suficiente simplesmente identificar os dispositivos de entrada e saída. Além disso, é importante notar como os dois estados dos dispositivos se relacionam com o processo. Por exemplo, se uma chave limite de nível está aberta, significa que o nível é baixo ou em determinado valor? Se um comando a ser usado para ligar um dispositivo, requer um comando de saída alta ou baixa?

Finalmente, um estudo completo do equipamento também deve incluir a natureza dos sinais (eletrônico, pneumático, hidráulico). Assim, um motor pode ser ligado pela aplicação de uma tensão de 110 V ca, sinal de baixa corrente para relé do *starter* do motor ou pode ser um sinal de 5 V cc tipo TTL para um *starter* eletrônico.

2.6. Descrição da seqüência de eventos

Agora que os sub-objetivos do processo e o equipamento necessário foram definidos, o trabalho resume em descrever como o equipamento será manipulado para se obter o objetivo. Uma seqüência de eventos deve ser descrita para direcionar o sistema através das operações para fornecer o resultado final desejado.

Descrições narrativas

A especificação da seqüência de eventos começa com as descrições narrativas de quais eventos devem ocorrer para se conseguir o objetivo. Em muitos casos, a primeira tentativa em especificar revela modificações que devem ser feitas no equipamento, como chaves limites adicionais. Esta especificação descreve em forma narrativa o que deve acontecer durante a operação do processo. Em sistemas que rodam continuamente, há tipicamente uma fase de partida (inicialização) e a fase de operação.

No exemplo da Fig.11.15, a fase de partida é usada para posicionar a esteira de alimentação em uma posição conhecida. A inicialização pode ser conseguida assim:

1. Fase de Inicialização
   I. Todos os motores desligados, Válvula solenóide desligada
   J. Teste da chave limite direita
      5. Se engajada, ir para C
      6. Se não, ajustar corretamente o motor de alimentação
      7. Ligar motor esteira alimentação
      8. Teste da chave limite direita
         c. Se engajada, ir para C
         d. Se não, ir para 4

K. Estabelecer motor alimentação para movimento esquerdo e iniciar
L. Teste da chave de centro
  3. Se engajada, ir para E
  4. Se não, ir para D
M. Abrir válvula alimentação do silo
N. Teste da chave limite esquerda
  3. Se engajada, ir para G
  4. Se não, ir para F
O. Todos os motores desligados, chave de alimentação do silo fechada.
P. Ir para fase de operação.

Fig.11.14. Processo de controle discreto

A finalização desta fase significa que a esteira de alimentação está posicionada no local limite esquerdo e a metade direita da esteira tem sido cheia do silo de alimentação. O sistema está em uma configuração conhecida, como mostrado na Fig.11.15.

A fase de operação é descrita de modo similar. Por exemplo, poderia ser a seguinte.

2. Fase de operação

N. Ligar esteira da caixa direita
O. Teste chave de presença de caixa direita
  3. Se presente, ir para C
  4. Se não, ir para B
P. Ligar motor da esteira de alimentação, movimento direito
Q. Testar chave de centro
  3. Se engajada, ir para E
  4. Se não, ir para D
R. Abrir válvula do silo de alimentação
S. Testar chave limite direita
  3. Se engajada, ir para E
  4. Se não, ir para D
T. Fechar válvula do silo de alimentação, parar esteira de alimentação
U. Ligar esteira da caixa esquerda
V. Testar chave presença de caixa esquerda
  3. Se engajada, ir para J
  4. Se não, ir para I
W. Ligar esteira de alimentação, movimento esquerdo
X. Testar chave de centro
  3. Se engajada, ir para L
  4. Se não, ir para K
Y. Abrir válvula do silo de alimentação
Z. Testar chave limite esquerda
  3. Se engajada, ir para II.A
  4. Se não, ir para M

Notar que o sistema cicla do passo M para o passo A. A descrição é construída pela simples análise de quais eventos ocorrem e qual entrada e saídas devem ser suportadas por estes eventos.

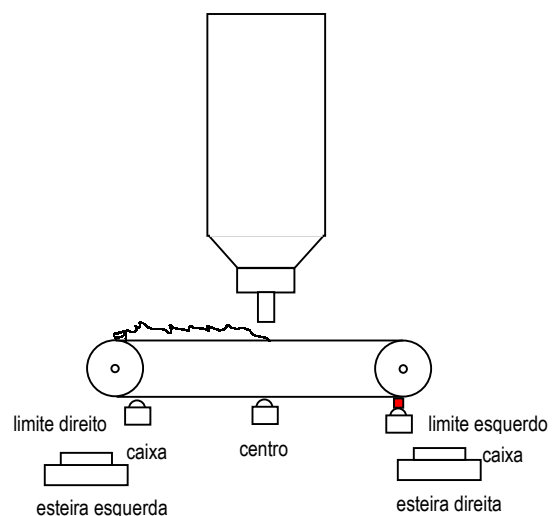



Fig. 13.15. Fim da fase de inicialização

Exemplo: Enchimento de garrafas

Descrever a seqüência de eventos para o sistema de enchimento de garrafas em movimento na esteira, como mostrado na Fig.11.17.

Solução

Assume-se que quando um comando é dado para parar o sistema de controle

contínuo, a válvula de entrada vai para a posição fechada. Assim, a seqüência seria:

Q. Inicialização (pré enchimento do tanque)

A. Esteira parada,
Válvula de saída fechada

B. Partir o sistema de controle de nível
   1. Operar por um tempo suficiente para se atingir o ponto de ajuste ou
   2. Colocar outro sensor de modo que o sistema saiba quando o ponto de ajuste é atingido.

C. Quando o nível é atingido, parar o controle de nível

D. Ir para a fase de operação

II. Fase de operação

A. Ligar a esteira das garrafas
B. Quando a garrafa estiver na posição
   1. Parar a esteira
   2. Abrir a válvula de saída
   3. Ligar o sistema de controle de nível para manter o nível constante durante o enchimento da garrafa.
C. Quando a garrafa estiver cheia
   1. Fechar a válvula de saída
   2. Parar o sistema de controle de nível
D. Ir para o passo II.A e repetir/

Notar que equipamento foi adicionado ao sistema quando a seqüência de evento era construída. Equipamento (hardware) e programa (software) são geralmente desenvolvidos em conjunto.

2.7. Diagrama de fluxo da seqüência de eventos (Flowchart)

É normalmente mais fácil visualizar e construir a seqüência de eventos se uma diagrama de fluxo é usado para apresentar em forma de figuras o fluxo de eventos. Embora existam vários tipos sofisticados de diagramas de bloco, o conceito pode ser apresentado facilmente usando três símbolos mostrados na Fig.11.18.

A narrativa descritiva pode então ser simplesmente reformatada em símbolos de fluxograma. Geralmente é mais fácil expressar a seqüência de eventos diretamente em termos de símbolos de fluxograma. A Fig. 13.18 mostra a fase de inicialização do sistema de esteira da Fig. 13.16 expressa em formato de fluxograma.

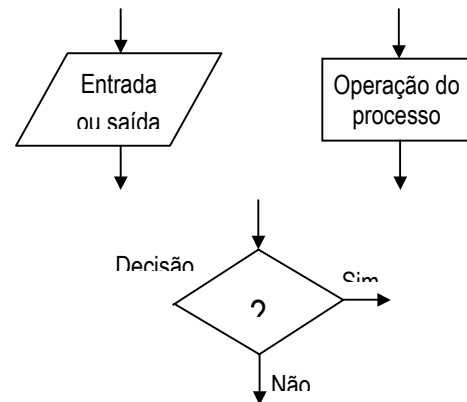



Fig. 13.16. Símbolos básicos de diagrama de fluxo

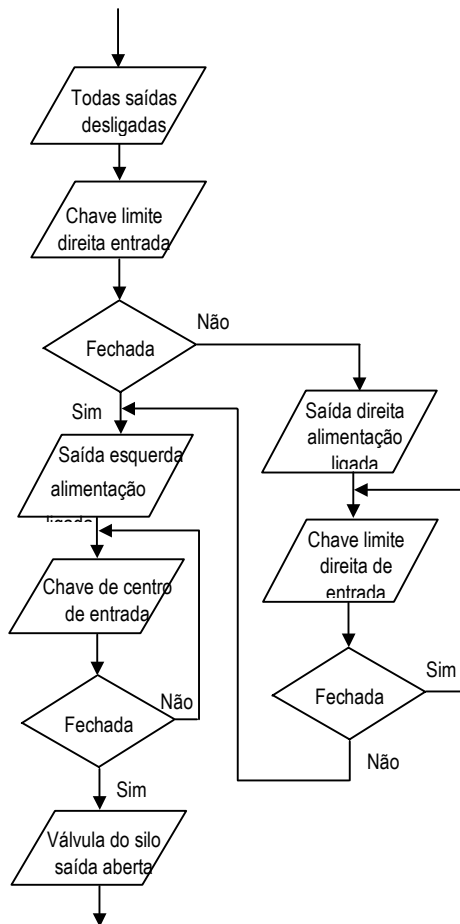



Fig. 13.17. Diagrama de fluxo da inicialização parcial

Descrições de variável de estado binário

Cada evento que constitui a seqüência de eventos descrita pelo esquema narrativo corresponde a um estado discreto do sistema. Assim, é também possível descrever a seqüência de eventos em termos da seqüência de estados discretos do sistema. Para fazer isto, é necessário simplesmente que cada estado do evento, incluindo o das variáveis de entrada e saída, seja especificado.

As variáveis de entrada fazem o estado do sistema mudar porque as operações dentro do sistema provocam a mudança de uma das variáveis de estado, por exemplo, uma chave limite fica acionada. As variáveis de saída, por outro lado, são mudanças no estado do sistema que são causadas pelo sistema de controle em si.

O sistema de controle funciona como uma tabela de procura. O estado da entrada variável com a saída se torna um endereço de memória e as novas variáveis de estado de saída são os conteúdos desta memória.

Exemplo: Enchimento de tanque

Definir as variáveis de estado para o processo mostrado na Fig. 13.19 e descrito pela seguinte seqüência de eventos:

1. Encher o tanque até o nível A da válvula A
2. Encher o tanque até o nível B da válvula B
3. Ligar um temporizador, aquecer e agitar durante 5 minutos
4. Abrir a válvula C até que a chave de tanque vazio seja ligada.

Solução

Inicialmente, formar a representação da variável de estado do sistema atribuindo estados binários. Há quatro variáveis de entrada:

LA
LB
LE
TU

Um estado discreto do sistema é definido pela especificação destas variáveis. Como cada variável tem dois estados, usa-se uma representação lógica:

verdadeiro = 1

falso = 0

Assim, para a entrada, se o nível A não foi atingido, então LA = 0 e se ele foi atingido,
LA = 1. Também, para a saída, se a válvula C está fechada, então se toma VC = 0 e se ela foi comandada para abrir, VC = 1. Pode-se tomar a palavra binária descrevendo o estado do sistema a ser definido pelos bits na ordem

(LA)(LB)(LE)(TU)(VA)(VC)(TM)(S)(H)

A seqüência de eventos á agora mudada para uma expressão do estado discreto como uma palavra binária por estado. (Um X indica que não importa qual é a variável de entrada.)

Condição	Estado entrada		Saída
1. Válvula A aberta	00XX000000	→	100000
2. Teste para LA:			
a. Falso, manter	00XX100000	→	100000
b. Verdade, fechar A, abrir B	10XX100000	→	010000
3. Teste para LB:			
a. Falso, manter	10XX010000	→	010000
b. Verdade, fechar B, começar agitação, aquecedor, timer	11XX010000	→	000111
4. Teste para temporizador:			
a. Falso, manter	11X0000111	→	000111
b. Verdade, desligar aquecedor, desligar agitador, abrir C	11X1000111	→	001000
5. Teste para tanque vazio:			
a. Falso, manter	XX0X001000	→	001000
b. Verdade, fechar C	XX1X001000	→	000000
6. Ir para 1			

Fig. 13.18. Processo do tanque

Tipicamente, este enfoque para a especificação da seqüência de eventos é usado quando se aplica um computador para implementar as funções de controle.

14

Controle Batelada

1. Objetivos

5. *Apresentar a história do controle de processo batelada, com sua origem, desenvolvimento e tendências futuras.*
6. *Conceituar o gerenciamento e automação da batelada.*
7. *Mostrar as diferenças das exigências do controle convencional e batelada.*
8. *Listar, analisar e comparar as diferentes tecnologias industriais disponíveis para automatizar o controle batelada.*

1. História da Batelada

1.1. Origem do Controle Batelada

O processo batelada é aquele em que as funções de transferência de material ou processamento de material são cíclicas com resultados repetitíveis. O processo batelada faz um produto em quantidades finitas. Em uma situação ideal, este produto é determinado por

1. uma *receita* que tem um nome e contem informação sobre
2. os ingredientes ou as matérias primas usadas,
3. a ordem dos passos e
4. as condições do processo e
5. equipamento usado no processo.

Fazer uma sopa é um exemplo típico de um processo de batelada e possivelmente a receita foi passada oralmente, de uma geração para a seguinte.

No passado, cozinhar a sopa era feito e controlado manualmente, porém os passos e funções típicos de um processo de batelada já eram explícitos e reconhecidos:

1. medição ou sensação por meio de ver, tocar, escutar e degustar
2. atuador, ou a interferência direta de cozinhar com processo, como mexer a sopa, aumentar ou reduzir a fonte de calor, adicionar ingredientes ou remover a panela do fogo.
3. segurança: como evitar ou extinguir o fogo na caverna ou cozinha, certamente com uma lata d'água para a emergência.
4. manipulação anormal: redução do fogo em caso de excesso de fervura ou aumento da agitação para evitar que sopa grude na panela
5. controle regulatório: mantendo a temperatura da sopa no ponto de ebulição
6. seqüência: execução dos passos do processo em ordem predeterminada
7. coordenação do processo: certos ingredientes foram medidos, pesados ou preprocessados para servir como matéria prima antes de começar o processo principal de cozinhar a sopa.
8. programação: onde alguém programa e supervisiona o processo de fazer vários potes de sopa para todo o pessoal da tribo.

É fácil imaginar que o controle de qualidade, em termos de se garantir um gosto agradável e consistente para vários potes de sopa era requerido pelo usuário final. O controle de qualidade era uma consideração importante para o cozinheiro continuar no negócio ou mesmo continuar vivo.

A otimização do uso do ingrediente e do tempo de cozimento foi muito importante no passado, especialmente quando era pobre o suprimento da comida.

Este exemplo mostra que as funções incluídas no controle do processo de batelada de hoje não eram diferentes daquelas da pré-história. A principal diferença é que, hoje, se tem os meios

para armazenar os ingredientes necessários e de executar as funções manuais por meio de equipamento mecânico ou eletrônico, de modo automático.

Como havia muitos fenômenos químicos e físicos pobremente conhecidos, o controle do processo batelada foi considerado uma arte ou uma habilidade no passado. O cozinheiro pré-histórico fez várias funções, tais como engenheiro de pesquisa e desenvolvimento, especialista de processo, operador e instrumentista. Os processos de batelada originais eram tão elaborados que requeriam muita atenção e experiência para fazer produtos com uma qualidade consistente.

Atualmente, tem-se um enfoque mais cientifico e muitas incertezas na química e física foram reduzidas ou resolvidas.

Historicamente, o crescimento do conhecimento dos fenômenos físicos e químicos junto com o aparecimento de novas tecnologias, métodos e técnicas possibilitaram o engenheiro de controle automatizar as funções descritas acima.

A automação começou com as medições do processo e com os atuadores diretos na planta. Depois se seguiu a automação das funções de controle lógico de intertravamento e do controle regulatório. Gradualmente, a automação foi aplicada ao controle da seqüência e nos níveis de programação.

A automação sempre foi inspirada pela exigência ou demanda de:

1. aumentar a segurança
2. proteger o ambiente
3. melhorar a saúde e trabalho do operador
4. melhorar a qualidade do produto
5. aumentar a eficiência e produtividade
6. controlar os tempos de entrega.

Equipamento

Para automatizar o controle do processo, é vital e necessário instalar equipamentos e dispositivos em linha com o processo, para a medição e controle das variáveis de interesse e atuadores que possam ser acionados através de energia mecânica e elétrica sem a interferência do operador humano. Um sistema de controle automático deve ser capaz de monitorar e controlar o status ou estado dos dispositivos do processo. Em termos de fazer a sopa, isto significa que devem ser instalados

1. um vaso com tubulações associadas,
2. equipamentos de pesagem e dosagem,
3. instrumentos de medição de pressão, temperatura, vazão, nível.
4. válvulas de controle e de segurança
5. motores para agitadores e bombas
6. aquecedores e resfriadores

Dependência do tempo

A essência de um sistema de controle de processo batelada operando corretamente é garantir que, baseado em uma receita, os equipamentos de controle do processo tenham o status apropriado ou a posição correta no tempo requerido para uma determinada duração de tempo durante o processo ou até que certos valores de parâmetros do processo sejam atingidos.

Uma característica de um processo de batelada é a dependência do tempo. Os produtos da batelada só feitos em uma unidade de processo, transferidos para outra unidade, requerendo a partida ou parada destas unidades de processo. O produto de uma unidade pode ser totalmente diferente do produto de outra unidade, mesmo que requeiram o mesmo equipamento. O controle do processo de batelada está relacionado, portanto, com estados transitórios de controle, bem como estados de regime permanente no processo. Neste aspecto, o processo de batelada é diferente do processo contínuo, que trata exclusivamente de valores em regime.

Por causa da intensidade do trabalho e da necessidade de grande experiência,

bem como da natureza transitória dos processos originais de batelada, o controle do processo de batelada é muito mais difícil e complexa que o controle de processo contínuo. Por isso, sempre houve uma procura em transformar o processo de batelada em processo contínuo. A tecnologia para se obter controle automático exato de processo contínuo com menor esforço se tornou madura mais cedo que a tecnologia para controlar processos de batelada.

1.2. Funções de controle da batelada

O controle automático de processos contínuos se consolidou mais cedo do que o controle de batelada, por que o controle contínuo envolve menor número de níveis de funções:

1. implementação das medições e atuadores em linha com o processo
2. automação do sistema de controle regulatório
3. automação das funções lógicas de segurança e intertravamento.

Além destas funções do controle contínuo, o sistema de controle de processo batelada inclui:

1. manipulação anormal das funções
2. seqüência dos passos do processo em ordem predeterminada
3. coordenação do processo com funções auxiliares
4. programação e supervisão do processo

1.3. Controle manual direto

No nível mais baixo da hierarquia de controle, o controle manual (ou do operador) requer acesso para os dispositivos individuais do processo. Sob o controle manual os estados do processo podem ser monitorados e os atuadores do processo (válvulas e motores) podem ser operados manualmente.

Para evitar situações perigosas de processo, que poderiam prejudicar pessoas ou danificar equipamentos, é necessário incluir medidas de segurança. A ultima linha de defesa inclui os equipamentos de segurança do processo, tais como válvulas de alívio, discos de ruptura. Estes dispositivos devem estar sempre em operação, para proteger as pessoas de serem feridas ou mortas, evitar que os equipamentos sejam danificados e impedir que o ambiente seja poluído.

1.4. Controle Regulatório

O controle regulatório envolve a detecção e medição das variáveis analógicas do processo. As variáveis básicas do controle regulatório são: vazão, pressão, temperatura, nível e análise. O sistema de controle regula estas variáveis por meio do controlador básico PID (proporcional, integral e derivativo). Um exemplo de controle regulatório é manter a temperatura da sopa constante e igual a 80 ^{o}C.

O controle regulatório pode também envolver a mudança da variável do processo ou alteração do ponto de ajuste de alguma variável, em função de curvas predefinidas do tempo. Por exemplo, a temperatura da sopa deve ser aumentada gradualmente, para evitar que os ingredientes grudem no fundo da panela e, quando atinge o valor desejado, seja mantida nesta temperatura constante, durante um determinado intervalo de tempo.

Podem ser usadas estratégias de controle diferentes para controlar o mesmo equipamento de processo. Isto significa que o controlador pode ter ações de controle diferentes, os ajustes das ações podem ser estabelecidos em valores diferentes ou mesmo pode-se substituir o controlador por uma chave liga-desliga.

Controle manual

O operador pode interagir com a função de controle regulatório do processo por meio de variação do ponto de ajuste. O operador pode usar o controle manual, colocando o controlador no modo manual e manipulando diretamente a saída para a válvula ou motor.

Segurança

A automação da função de controle regulatório definitivamente requer a automação dos sistemas de segurança.

1.5. Intertravamentos de segurança

Os intertravamentos de segurança são implementados por várias razões, tais como:

1. proteção ou segurança dos operadores
2. prevenção de danos no equipamento
3. eficiência da energia
4. eficiência da operação e do processo

Há dois tipos de intertravamento:

1. intertravamento de falha, que está continuamente ativo e usualmente associado com o desligamento do equipamento
2. intertravamento de permissão, que serve como partida, parada ou manutenção de uma condição para uma ação

Bypassar uma função de intertravamento de segurança para manipular manualmente os equipamentos do processo não deve ser permitido, exceto em situação de manutenção, calibração ou teste. Mesmo assim, a situação de bypass deve ser sinalizada claramente.

1.6. Sequenciamento

A função seqüência é típica do processo batelada. Em um processo batelada, o estado dos equipamentos de processo é manipulado de um padrão de posições para a próxima em uma ordem predefinida chamada de seqüência. Isto não se aplica apenas para equipamentos discretos, mas a seqüência também tem controle sobre os equipamentos de controle regulatório, diretamente ou através dos controladores. A seqüência pode, por exemplo, alterar o ponto de ajuste, introduzir um perfil de ponto de ajuste, mudar o esquema de controle regulatório, colocar o controlador em manual ou automático.

A mudança do esquema de controle regulatório pode depender do produto final, ser determinado pela receita ou depender das condições do processo. Se a mudança depender do processo, ela é selecionada por meio de decisão lógica na seqüência.

Uma seqüência pode requerer atendimento de uma condição final antes de ir para a próxima seqüência. Estas condições podem ser:

1. intervalo de tempo
2. valor de uma variável de processo
3. valor da qualidade de determinado produto.

A função seqüência pode ser automatizada por meio de dispositivos que serão mostrados posteriormente.

Manual

Deve ser possível para o operador interagir com o processo, através da função seqüência. Para preencher esta exigência, o operador deve ser capaz de partir, parar, manter, continuar seqüências e possivelmente, começar em um passo predeterminado. O operador deve poder fazer manutenção ou teste em qualquer ponto da seqüência.

Intertravamentos do processo dependentes da função podem ser requeridos para certas fases do processo, de modo que o controle da seqüência automática deve ser capaz de ligar ou desligar estes intertravamentos. Deve ser possível acionar automaticamente uma seqüência para um valor constante predeterminado ou para um procedimento de emergência, se o estado do processo o requerer.

Segurança

Em todos os casos, os intertravamentos de segurança não podem ser contornados (bypassados), exceto para manutenção, teste ou calibração.

1.7. Gerenciamento da Batelada

A função de gerenciamento da batelada ou controle da batelada é selecionar uma receita e a transforma em uma receita de controle executável. Esta função gerencia as fontes necessárias para a execução da batelada e inicia e supervisiona a execução da batelada. Esta função de gerenciamento da batelada também coleta e gerencia os dados da batelada.

A complexidade da função gerenciamento da batelada é altamente dependente das seguintes características do processo de batelada:

1. tipo de receita
2. número de produtos
3. tipo de equipamentos
4. caractere da planta
5. facilidades de fabricação
6. roteiro que a batelada segue através da planta

7. tipos de produção
8. modo de execução da produção

1.8. Planejamento

Planejamento (*scheduling*) é uma atividade que aceita entrada do plano de produção principal e desenvolve (baseado no algoritmo de programação ou baseada na experiência do planejador) um programa de produção, que tipicamente inclui:

1. quantidade a ser produzida
2. equipamento a ser usado
3. objetivos para o tempo de produção
4. disposição do produto
5. restrições das fontes

1.9. Equipamentos

Um controle de batelada pode ser considerado uma série ordenada de controles contínuos. Cada etapa de controle contínuo requer um controle regulatório. O equipamento para executar o controle regulatório, dentro do processo batelada, é o mesmo usado no controle regulatório do processo contínuo.

Além do controle regulatório, o processo batelada requer controle do intertravamento, controle da seqüência de operações e a coordenação do processo.

Intertravamentos

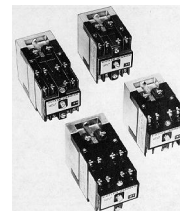
Os intertravamentos normalmente operam independentes das funções de seqüência e de controle regulatório. Os intertravamentos podem automaticamente

1. desligar a alimentação de vapor, em caso da temperatura atingir valores perigosos
2. desligar a alimentação de matéria prima, quando o nível atingir um ponto perigoso
3. iniciar a abertura de uma válvula quando a pressão atingir determinado valor perigoso.

Relé eletromecânico

Relé é um dispositivo, geralmente de operação eletromecânica, usualmente operado por uma mudança em um circuito elétrico de baixa potência para controlar um ou mais circuitos elétricos na saída. Relé é uma chave operada eletromagneticamente, usado para funções de computação ou lógica.

O relé é um magneto elétrico e o circuito elétrico é composto de um núcleo montado em uma armadura junto com um conjunto de contatos. Uma bobina com uma ou mais bobinas é montado em torno do núcleo. Se uma corrente elétrica , suficientemente alta, circula através do enrolamento da bobina, aparece um campo magnético, suficientemente poderoso, para atrair e alterar os contatos de saída. O movimento do núcleo é transferido para os contatos e, dependendo do tipo de contatos, o circuito associado é aberto ou fechado. As construções podem ter variações, mas o objetivo do relé é sempre abrir e fechar contatos, mudando o estado do circuito associado.

Fig. 14.1. Relé eletromecânico

O arranjo dos contatos é determinado pelo número e a seqüência do chaveamento binário a ser executado. Relés são disponíveis em muitas formas, com vários arranjos e números de contatos.

O relé não necessariamente é operado ou ativado pela corrente elétrica. Há relé que pode também responder a variação de resistência, temperatura, deslocamento, tempo, possibilitando assim, a resposta a variáveis de processo. Os contatos de um relé ativado podem ser usados em circuito lógico para chavear um motor de bomba e abrir e fechar uma válvula, através de uma válvula solenóide.

Os relés são muito apropriados para funções simples de alarme, controle seqüencial e intertravamento.

Os relés temporizados são muito importantes, quer sejam mecânicos ou eletrônicos. Eles podem ser ajustados para atuar depois de determinados tempos, que variam de segundos a vários minutos.

O contador de pulsos eletromecânico é também muito usado, com a vantagem sobre o contador eletrônico de não perder a contagem em caso de perda de potência de alimentação.

Eletrônica a estado sólido

Com a chegada do transistor, apareceu a chave a estado sólido. Originalmente, o transistor foi usado como um amplificador, mas quando operado nos extremos, pode executar funções de chaveamento, sem mover os contatos. Como o relé, o transistor pode ter dois estados que podem ser controlados por uma corrente, que abre e fecha a chave transistor. As vantagens do transistor sobre o relé eletromecânico são:

1. não possuir peças móveis,
2. consumir menos potência
3. ocupar menos espaço
4. ter uma lógica mais transparente para o usuário.
5. ser capaz de realizar uma grande variedade de funções lógicas:

a) inverter ou negar a entrada
b) função AND (E) que gera um 1 se todas as entradas forem 1
c) função OR (OU), que gera um 1 se alguma das entradas for 1
d) a função NAND (NÃO E) que gera um 0 se todas as entradas forem 1
e) a função NOR (NÃO OU) que gera um 0 quando ao menos uma entrada for 1.
f) a função XOR (OU EXCLUSIVO) que gera um 1 quando uma e somente uma entrada é 1.
g) função temporizador, para atuar em função do tempo
h) função contador, para contar e acumular pulsos
i) função gerador de pulsos.

Desde seu aparecimento, na década de 1960, estes blocos funcionais eram vendidos para realizar lógica para intertravamentos, partidas e paradas e controle seqüencial. A construção destes sistemas foi facilitada pela colocação das funções em cartões de tamanho padrão, que eram plugueados em armários e painéis cegos. Estes sistemas eram transparentes funcionalmente para os usuários e tinham uma fácil manutenção.

Seqüenciador

seqüenciador é um dispositivo, que pode ter várias naturezas de operação e que executa uma série de funções e tarefas, sempre em uma seqüência fixa e programada. O primeiro seqüenciador foi desenvolvido para tocar música, como em porta jóias, na década de 1600.

De autômato de música, o seqüenciador foi usado na indústria, para fazer operações cíclicas, de modo seqüencial. Em 1949, a Foxboro desenvolveu um seqüenciador pneumático, para controle de compressor.

Depois apareceu o seqüenciador acionado por cams, para controlar velocidade de motores elétricos. As saliências da cam ativavam chaves, que ligavam ou desligavam motores elétricos.

O próximo seqüenciador foi acionado por tambor, inicialmente para tocar música em órgão e depois, na indústria petroquímica e têxtil. Em 1968, a Foxboro desenvolveu um programador acionado por um cartão perfurado de papel, capaz de planejar sete funções.

A tecnologia seguinte se baseou em gráficos ou cartas plásticos, onde eram desenhadas linhas retas para definir o programa de controle a ser executado. Através de condução elétrica e detectores de fotocélula, o controlador executava diretamente o programa, gerando um sinal analógico de 4 a 20 mA. Estes instrumentos eram de natureza mecânica (a programação), embora já usassem a eletrônica no acionamento.

Mais recentemente, os seqüenciadores se basearam em relés eletromecânicos, eletrônica a semicondutor e circuito integrado. No final dos anos 1970, Honeywell desenvolveu um programador microprocessado, capaz de realizar programas complexos.

Controlador lógico programável

Em 1969 apareceu o primeiro Controlador Lógico Programável (CLP) e sua primeira aplicação foi na indústria automobilística. O CLP é aplicado industrialmente como uma alternativa moderna para os painéis de relés eletromagnéticos. O CLP atende uma necessidade da indústria de ter um sistema de controle que fosse facilmente

programado e reprogramado na planta, por meio de uma linguagem acessível ao usuário. A programação ladder não requer um especialista de informática, mas pode ser feita facilmente por um instrumentista ou eletricista. Além disso, ele apresenta uma alta confiabilidade e ocupa pouco espaço físico.

Um CLP consiste basicamente de:

1. Módulos de entrada e saída (I/O) que são a interface com o processo a ser controlado.
2. Unidade de Processamento Central com memória para escrever e ler.
3. Fonte de alimentação para suprir potência para todos os componentes do sistema.
4. Programador onde o usuário final desenvolve o programa e depois carrega no CLP.

O CLP funciona

1. recebendo sinais do processo através dos módulos de entrada,
2. examinando os estados das entradas do processo, em uma varredura cíclica, e
3. baseando nestes estados, decide usar a lógica pré-programada para
4. atuar no processo, através dos módulos de saída.

As funções lógicas incluem:

1. portas lógicas booleanas: AND, OR, NOT, NAND, NOR,
2. contadores
3. temporizadores
4. comparadores
5. armazenagem retentiva
6. registros de desvios

A linguagem de programação pode ser:

1. diagrama ladder de relé (mais usado)
2. instruções de lógica booleana
3. linguagem de código mnemônico

Fig. 14.2. Esquema básico de controle a CLP

A interface com o operador era, inicialmente, rudimentar e pobre, com chaves thumb wheel, botoeiras, chaves liga-desliga e lâmpadas piloto. Atualmente, o CLP é associado a computador pessoal (CP), onde se roda aplicativo supervisório e há a interface natural de monitor de vídeo com tubo de raios catódicos (TRC), teclado, mouse e track ball.

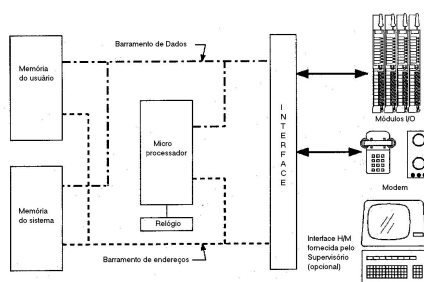
As características positivas do CLP são:

1. Facilidade de programação que usa conjunto pequeno de instruções, lógica ladder ou linguagem de lógica booleana.
2. Manipulação poderosa de entradas e saídas, em grande quantidade e com grande rapidez.
3. Conveniência para intertravamento lógico.
4. Boa repetitividade.
5. Conveniente para tarefas de controle seqüencial.

As características negativas são:

1. Limitação com linguagens de programa de alto nível, sub-rotinas e variáveis locais e globais.
2. Lógica de exceção pode ser cara.
3. Controle contínuo regulatório PID pode ser tedioso e caro.
4. Pouca flexibilidade para manipular dados e receitas de batelada.
5. Interface homem-máquina limitada, a não ser que seja combinado com um CP com controle supervisório.

Computador de controle de processo

Na década de 1960 foi usado o primeiro computador digital para controle de processo batelada. O computador, que continha um controle de seqüência codificada, foi usado principalmente para aplicação de processo batelada em que os diferentes produtos eram distinguidos por um conjunto diferente de parâmetros que podiam ser ajustados pelo operador. O controle contínuo PID era implementado no computador como controle digital direto, com reserva de controladores convencionais. Em caso de falha do computador, o operador podia atuar manualmente através dos controladores analógicos de reserva. As estações de operação eram pobres e forneciam pouco conhecimento do processo ao operador. O

operador ainda usava e confiava nos instrumentos do painel convencional.

Um dos primeiros sistemas usados na Europa (1969) foi em uma planta de poliéster, usando um sistema Ferranti Argus 400 com um sistema operacional de tempo real proprietário. A instrumentação reserva era a eletrônica convencional, da Foxboro.

Na década de 1970 foi usado o computador Honeywell H316 com sistema operacional de tempo real para controle seqüencial.

Na década de 1980 apareceram os computadores dedicados, oferecidos como Sistema Digital de Controle Distribuído.

Um dos primeiros produtos no mercado foi o Provox Batch da Fisher. Em 1983 a Foxboro apresentava seu produto Easybatch rodando em seus computadores programáveis Fox 300 e Fox 1/A.

Atualmente, na década de 1990, a maioria dos grandes fabricantes de instrumentos oferece pacotes de batelada que suportam a maioria das funções de controle batelada, inclusiva a função de planejamento. Estes pacotes geralmente fazem parte do SDCD e são totalmente configuráveis pelo usuário.

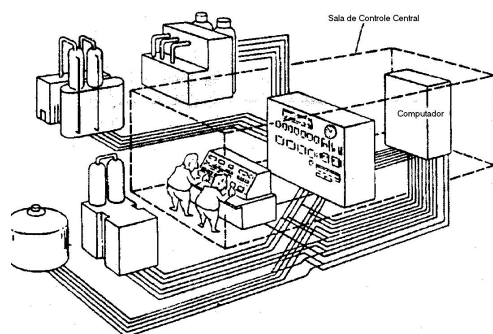



Fig. 14.3. Esquema básico de controle DDC

Infelizmente, ainda há muita confusão na terminologia e nos conceitos de controle.

Houve uma mudança no ênfase da cultura faça você mesmo, dentro da indústria de processo, forçada pela falta de produtos convenientes dos fornecedores da instrumentação, para sistemas de controle de processo que sejam facilmente configuráveis pelo usuário e que requeiram pouco conhecimento em hardware e software.

Sistema de controle distribuído

O Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) foi desenvolvidos na década de 1970, para substituir o sistema tradicional de controle analógico dedicado, que era usado naquele tempo, na indústria de processo contínuo. O controlador analógico consistia de um instrumento isolado (stand alone), geralmente montado na sala de controle junto a outros indicadores e registradores. A Honeywell foi a primeira firma a anunciar o seu TDC 2000, em 1975, que substituía com vantagens o ultimo sistema analógico, o SPEC 200, da Foxboro.

O SDCD combina várias malhas de controle em um controlador, tendo uma arquitetura dividida, onde o display é um console baseado em monitor de tubo de raio catódico (TRC), separado do painel do controlador.

Por exemplo, o sistema TDC 2000 possuía oito controladores regulatórios em seu Controlador Básico e 16 controladores regulatórios e blocos lógicos no Controlador Básico Estendido.

O console centralizado do operador incluía funções como: controle supervisório da malha fechada, tendência em linha e aquisição de dados para tendências históricas.

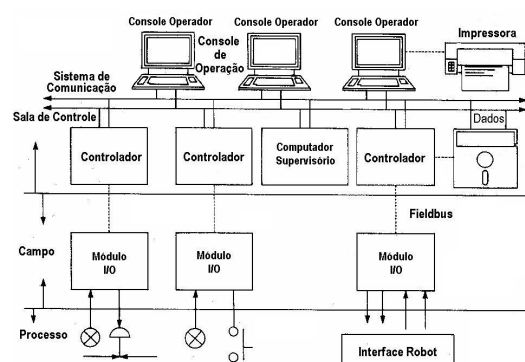



Fig. 14.4. Sistema de controle com SDCD

Os SDCDs evoluíram e passaram a oferecer ao usuário:

1. condicionamento e processamento de valores do processo

2. controle regulatório e discreto
3. capacidade de combinar estas opções em esquemas de controle poderosos
4. capacidades computacionais
5. escolha de técnicas de controle avançado
6. armazenamento de dados
7. capacidade de display com listas de alarmes, facilidades de relatório, tendências históricas
8. facilidade de comunicação poderosa
9. flexibilidade de redundância de equipamentos (módulos de entrada, controladores, fontes de alimentação, canais de comunicação ou combinação destas opções)
10. diagnose de falhas
11. capacidade de configuração de aplicação orientada por programa e acionada por menu.

Os procedimentos de partida e parada de processo batelada não eram feitos pelos primeiros SDCDs, pois eles eram dedicados a controle de processo contínuo. Quando se aplicava um SDCD para controle batelada, o operador fazia estas tarefas manualmente, usando o painel. Porém, com a evolução dos sistemas, eles passaram a ter aplicações em processo batelada. Em 1978, o sistema DCI 1000 da Fischer & Porter foi implementado na Europa, na indústria petroquímica, com capacidade de fazer programa seqüencial.

Para executar funções discretas do tipo batelada, os controladores a SDCD incorporaram um número crescente de funções discretas, que podem ser manipuladas por outros controladores supervisórios.

Fig. 14.5. Estação de operação típica do SDCD

Os principais vendedores de SDCD, (Foxboro, Honeywell, Yokogawa, Fisher-Rosemount, ABB, Bailey, Moore, Siemens) têm pacotes de controle batelada incorporados aos seus sistemas.

Algumas características do SDCD são:

1. Conveniência para controle regulatório
2. Abundância de funções disponíveis
3. Funções padrão implementadas em blocos constituintes que podem ser facilmente configurados pelo usuário.
4. Disponibilidade de linguagem de programação de alto nível
5. Possibilidade de redundâncias físicas e funcionais
6. Interface homem-máquina poderosa e amigável ao usuário.

Computador pessoal

O Computador Pessoal (CP) também deve ser considerado uma tecnologia viável e disponível para controle de processo e de batelada. Por muito tempo, o CP foi considerado impróprio para controle de processo, por causa de sua suspeita pequena confiabilidade, mas atualmente o CP se tornou uma ferramenta útil para configurar SDCD e CLP e é largamente usado como uma plataforma para funções supervisórias de controle e para aquisição de dados do processo. Hoje, já são disponíveis pacotes de software para CP que fornecem ao usuário as funções de batelada, antes só disponíveis em SDCD.

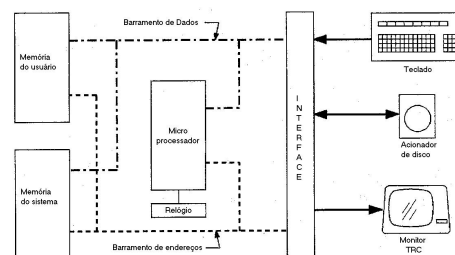



Fig. 14.6. Esquema típico controle com CP

Os pacotes de CP disponíveis comercialmente também fornecem as funções tradicionais de controle regulatório e as funções lógicas que, quando rodam em um sistema operacional de tempo real

conveniente, podem ser aplicados para pequenos projetos.

Tendências

A tendência atual (1999) é integrar o CLP e o SDCD. As razões óbvias são para combinar o poder que o CLP tem de manipular com eficiência e rapidez as grandes quantidades de entradas e saídas discretas, provendo naturalmente uma lógica seqüencial e de intertravamento com o poder que o SDCD tem para fazer controle regulatório contínuo (PID), cálculos e algoritmos para controles avançados e as funções das camadas mais elevadas do controle hierárquico, tendo uma interface homem máquina flexível e poderosa.

Esta integração é também estimulada para preencher as lacunas de automação e o desejo de apresentar ao operador uma janela de processo uniforme. A integração do CLP com o SDCD geralmente envolve um CP, onde é rodado o programa aplicativo supervisório.

Para que a integração de todos estes sistemas digitais de controle, devem ser tomadas as seguintes precauções:

1. As entradas e saídas devem ser intercambiáveis
2. O operador deve saber claramente se o sinal confrontado vem do SDCD ou CLP.
3. Deve haver uma interface de operador uniforme, especialmente para manipular alarmes e dados históricos.
4. Deve ser disponível uma manipulação de diagnósticos para manutenção apresentada e controlada de modo centralizado.
5. Devem ser integradas as funções e as facilidades de engenharia para evitar ferramentas separadas.
6. A comunicação peer-to-peer entre os controladores e blocos funcionais do CLP e o SDCD deve ser baseada preferivelmente em *nomes de tag*, para permitir a implementação de estratégias de controle tanto no CLP como no SDCD.
7. Os sistemas operacionais, aplicativos e o protocolo do sistema de comunicação digital devem ser abertos. Aberto significa que as interfaces de comunicação são padrão e facilmente disponíveis de vários fornecedores. Aberto também significa facilidade de conectividade entre os sistemas industriais e corporativos, dominados pela IBM, DEC e HP.

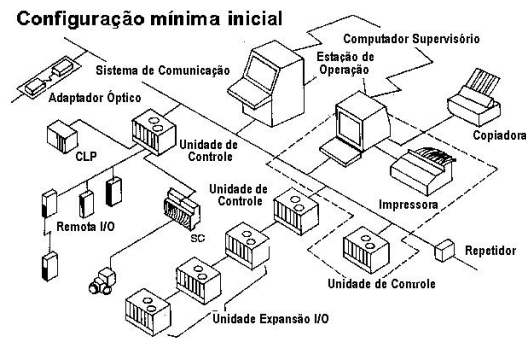



Fig. 14.7. Sistema integrado com SDCD, CLP e CP

1.10. Conclusão

Este capítulo apresentou ao leitor as funções de controle do processo batelada e sua história.

Ao longo do tempo, as funções de controle batelada foram gerenciadas para tornar possível sua automação, usando sempre a melhor tecnologia disponível, mecânica, elétrica ou eletrônica. A automação começou no nível regulatório e subiu na pirâmide hierárquica, sendo aplicada em controle seqüencial e avançado.

Vários dispositivos foram desenvolvidos para o controle seqüencial e de batelada, como seqüenciadores e programadores, culminando no projeto e uso do CLP para fazer funções de controle batelada.

Atualmente, no fim dos anos 1990, a palavra chave é *comunicação* e a necessidade de se ter sistemas *abertos*. Os sistemas abertos permitem ao usuário integrar verticalmente e conectar seu sistema de controle de processo com o mundo de negócios corporativos, incluindo as partes de produção e logística. Os sistemas abertos permitem também a integração horizontal das aplicações industriais, através da conexão dos sistemas de controle regulatório, monitoração de alarme, sistema de laboratório, sistema de monitoração de máquinas rotativas, gerenciamento de

inventário e logística e até os sistemas de manutenção, qualidade e documentação.

No futuro, os sistemas de controle de processo batelada serão facilmente aplicados pelo usuário e serão embutidos e ligados com os sistemas periféricos de informação baseados em tecnologia. Estes sistemas estarão de conformidade com as normas e terminologias desenvolvidas, tais como ANSI/ISA S88.01 e NAMUR NE 33.

2. Gerenciamento da Batelada

2.1. Introdução

Não é fácil projetar um sistema de controle de processo batelada para uso geral. Parece fácil no início, mas quando se examinam as exigências operacionais e funcionais, se vê que elas são mais complexas que a maioria das outras aplicações. De fato, o projeto de um sistema para controle de processo contínuo é relativamente mais fácil. O controle contínuo pode ser visto como uma parte de um controle de processo batelada.

2.2. Exigências

As exigências operacionais são:

1. mover quantidades discretas de materiais através de equipamentos,
2. operar dispositivos para criar as condições apropriadas do processo.

A **Fig. 14.**8. mostra uma batelada simples, constituída de um tanque, uma coluna, um funil e um reator.

Mas, na prática, as coisas não são tão simples. Usualmente, pode-se e deve-se fazer mais de uma coisa ao mesmo tempo. Por exemplo, enquanto se processa a batelada na coluna, pode-se encher o funil, para que os dois fluxos sejam combinados no reator.

A **Fig. 14.**9 mostra os estágios sucessivos de três diferentes bateladas se movendo através da mesma célula do processo. Assim que a batelada 1 acabou no tanque e enquanto ela ainda está na coluna, a batelada 2 pode começar no tanque. Assim, quando a primeira batelada se move para o reator, a batelada 2 é movida para a coluna e a batelada 3 pode ser começada no tanque.

Finalmente, há aplicações onde se tem passos totalmente independentes ou até processos separados realizados simultaneamente. Nas **Fig. 14.**8 e 12.9, cada grupo representa um estágio diferente no mesmo conjunto de equipamentos. Na **Fig**.12.10, cada linha é um conjunto diferente de equipamentos e tem-se três bateladas, e cada um dos três processos é representado pelas áreas hachuriadas.

2.3. Funções Automáticas

Há quatro funções básicas executadas em um processo automático.

1. Monitoração
2. Controle Regulatório
3. Controle Seqüencial
4. Relatório

Monitoração

A monitoração envolve a varredura contínua de todas as variáveis (temperatura, pressão, vazão, nível e análise) e condições (válvula aberta ou fechada, motor ligado ou desligado) de processo. Os valores destas variáveis e as condições destes status podem ser indicadas.

A monitoração inclui também um sistema de alarme, para chamar a atenção do operador para condições anormais e o sistema de intertravamento e desligamento, para garantir a segurança da planta.

No nível de monitoração, os dispositivos envolvidos são os válvulas, motores, bombas. Os instrumentos incluem sensores, transmissores, indicadores, registradores e atuadores. O computador que monitora o processo periodicamente faz amostragem de todos os dados analógicos e digitais de todos os instrumentos do processo. Estas amostras de dados são convertidas para unidades de engenharia e armazenadas no arquivo de dados central. Verificações de validade são feitas na entrada dos dados para garantir que eles são precisos e verificações de exceção são feitas para detectar alarmes e volta ao normal, com mensagens apropriadas sendo mostradas no monitor ou impressas na impressora.

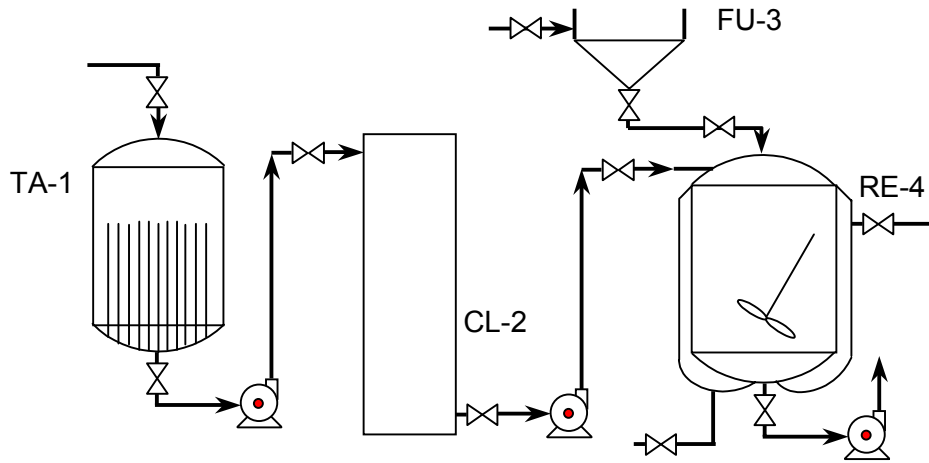
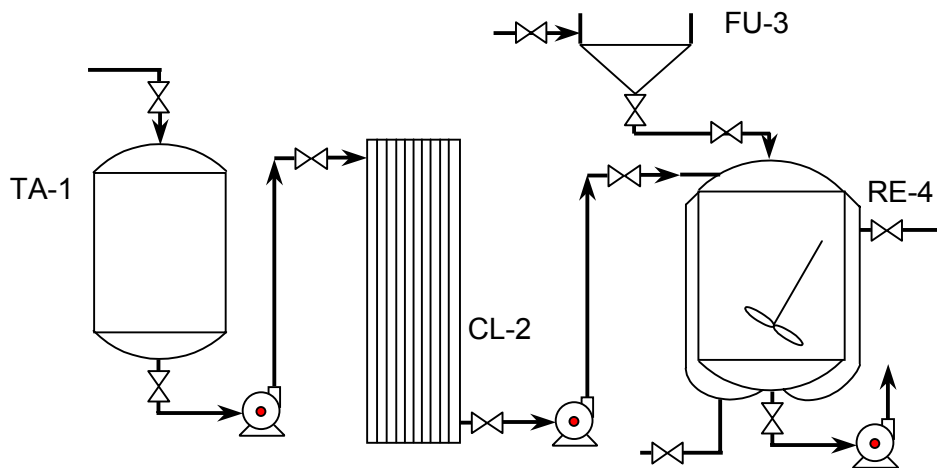
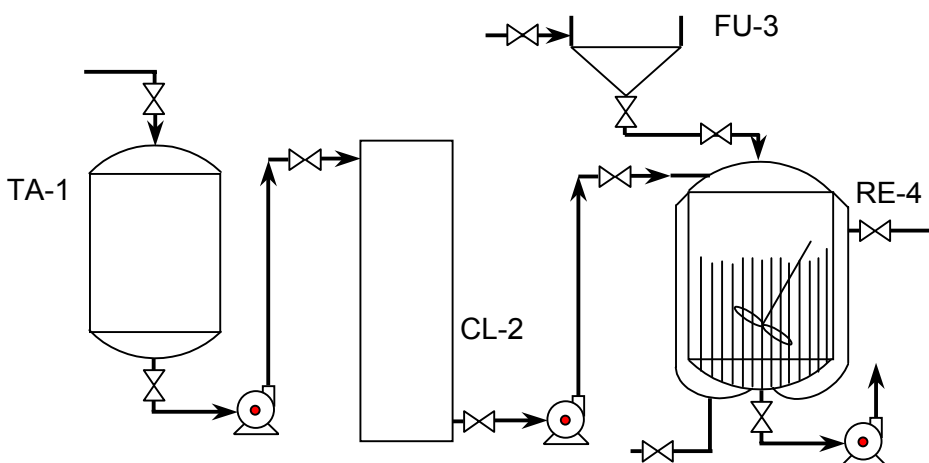
Assim que os dados atingem o arquivo central de dados, ele é condicionado para ser usado em níveis mais altos da hierarquia, como em controle regulatório.

(a) Primeiro estágio: enchimento do tanque

(a) Segundo estágio: enchimento da coluna

(c) Terceiro estágio: enchimento do reator

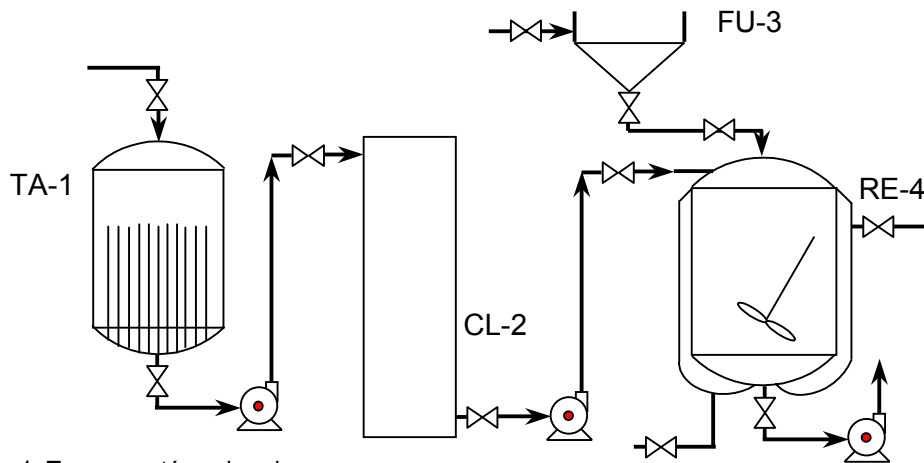
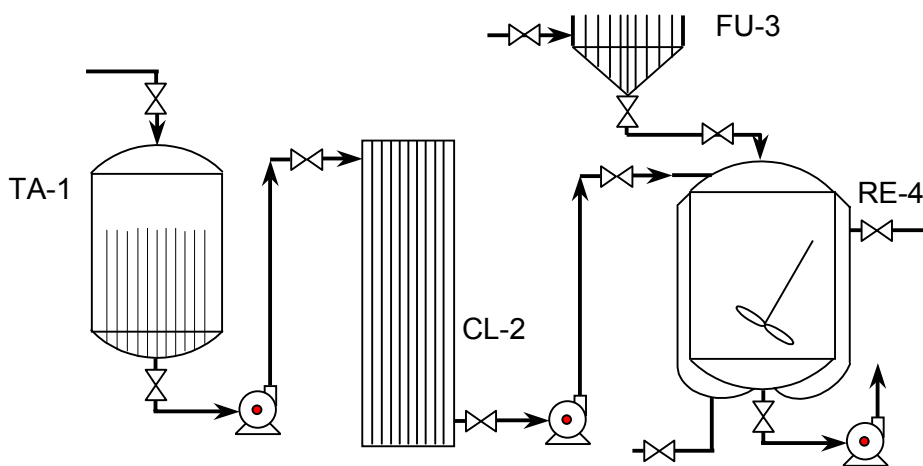
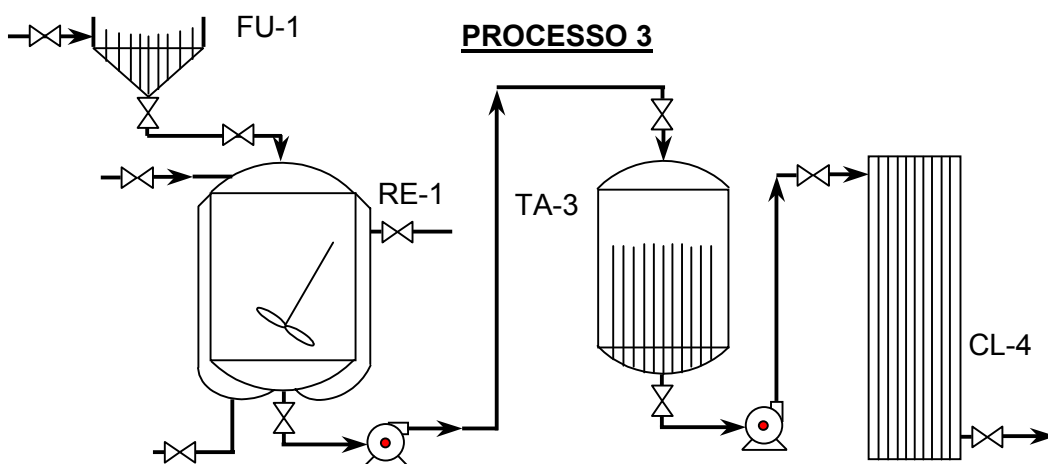
Fig. 14.8. Três estágios sucessivos de uma batelada simples

(a) Estágio 1: Tanque está enchendo

(b) Estágio 2: Tanque esvaziando enchendo a coluna e funil cheio

(c) Estágio 3: Tanque, coluna e funil esvaziando e reator enchendo

Fig. 14.9. Sistema multibatelada

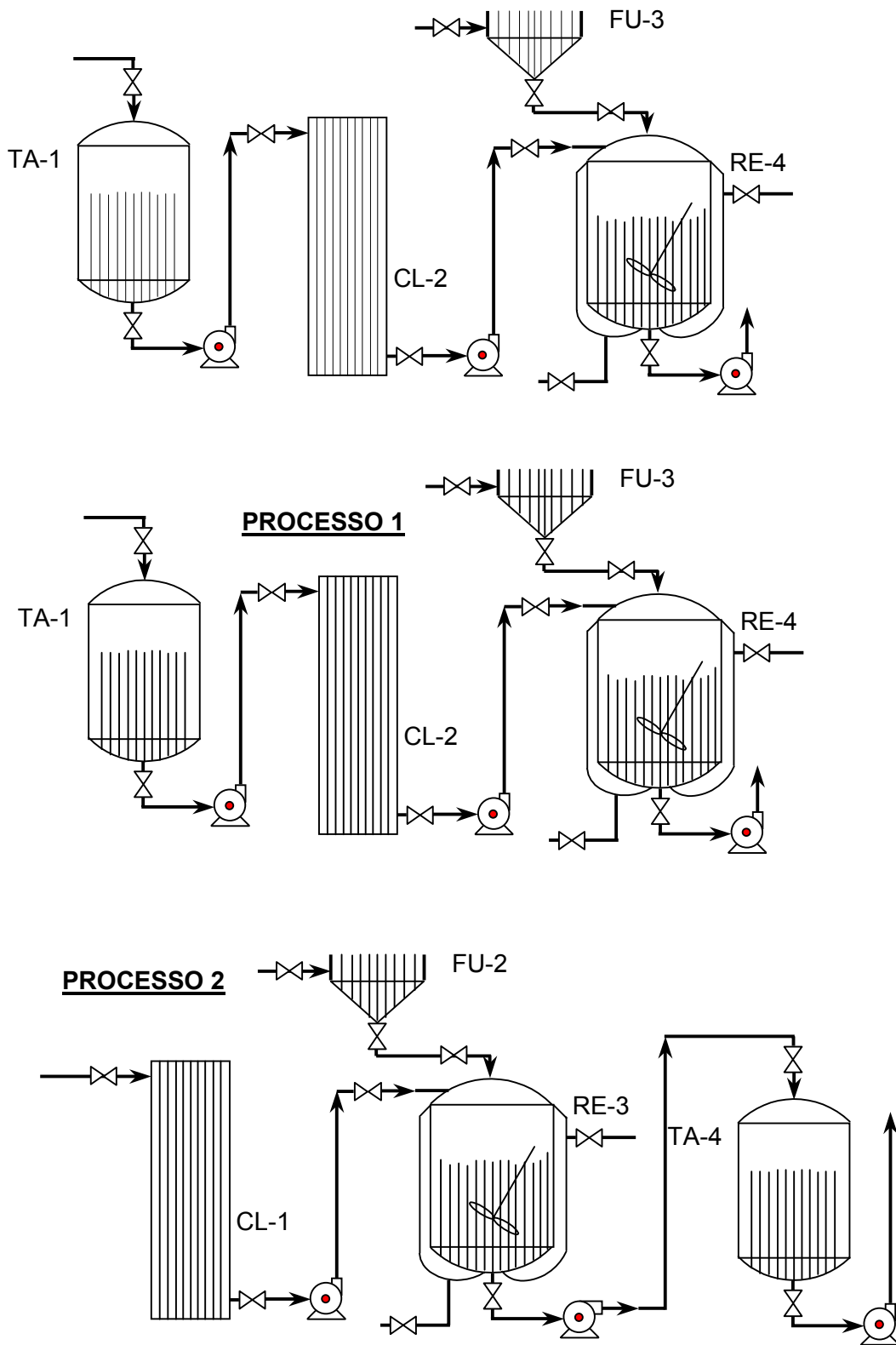



Fig. 14.10. Seqüência com vários processos multibatelada

A função de monitoração pode rodar sozinha como um sistema para aquisição de dados com geração de alarmes e relatórios ou como uma base para controle mais sofisticado.

Controle Regulatório

O controle regulatório adiciona à monitoração a capacidade de controlar as variáveis do processo, comparando os valores correntes medidos com os valores ajustados ideais e tomando as ações corretivas apropriadas. Isto pode ser feito diretamente por instrumentos, com várias estratégias diferentes e usando várias tecnologias disponíveis comercialmente.

A função regulatório permite o controle direto das variáveis do processo, com instrumentos intervindo no processo. O controle de processo procura manter as variáveis do processo em valores constantes e iguais aos valores ideais, mesmo que esteja aparecendo distúrbios no processo tendendo afastar estas variáveis destes valores ajustados.

Assim que variáveis saem fora dos limites de controle, são gerados alarmes (que pertencem ao nível de monitoração).

A função de regulação pode rodar junto com a de monitoração, para estabelecer um sistema de controle com capacidade de alarme e relatório e ambos podem suportar um sistema de controle seqüencial.

Controle Seqüencial

O controle seqüencial adiciona a habilidade de seguir um conjunto predeterminado de instruções – uma folhe de batelada ou receita – para simultaneamente controlar processos múltiplos e independentes, cada um envolvendo múltiplas bateladas e várias atividades.

Uma folha de batelada é a receita manual do processo para o operador. Para operação automática, um programa supervisório rodado em um CP permite que vários processos rodem automaticamente na planta. O programa de sequenciamento, que é uma versão da folha de batelada ou receita para o computador, é preparada pelo engenheiro de processo usando linguagens de baixo nível de programação, que são as funções de monitoração e regulagem. O seqüenciador rastreia o estado do programa, que conduz o processo através de sua progressão lógica, exatamente como faria um operador apertando botoeiras.

Interface do Operador

O sistema deve fornecer os registros permanentes de todos os dados e eventos pertinentes do processo.

Além das exigências operacionais e funcionais anteriores, há algumas exigências de gerenciamento que devem ser satisfeitas. O operador deve ter o controle total do processo, durante todo o tempo, mesmo quando o processo está sob o controle e sequenciamento automático dos instrumentos ou do computador. A partir do console, o operador pode se comunicar com o computador usando o monitor de vídeo (TRC), teclado, mouse, track ball, toque na tela e impressoras. Ele pode controlar todas as funções de monitoração, controle regulatório, controle seqüencial e relatórios.

O operador pode fazer uma infinidade de tarefas. Na monitoração, ele pode estabelecer os limites de operação e segurança do processo, além dos quais o sistema deve alarmar ou desligar o processo.

Para fazer o controle regulatório, ele pode estabelecer para o computador quais condições devem ser monitoradas ou reguladas

Na função de sequenciamento, o operador pode chamar o programa automático seqüenciador e tomar o status de cada batelada sob controle automático, parando ou partindo muitos ou todos os programas de qualquer passo do processo.

No relatório, o operador pode prover informação necessária ao computador para a tomada de decisões ou pode pegar dados numéricos para uso de cálculos ou relatórios em linha.

Todas as ações que o operador toma através do TRC podem ser registradas de modo permanente e recuperadas, quando necessário.

Todas estas tarefas podem ser feitas no monitor. Se o console tem mais de um monitor, o operador pode fazer vários coisas simultaneamente, como processar a

informação mostrada na tela e mostrar a lista de coisas pendentes no computador e uma terceira tela pode estar disponível para os comandos do operador.

Se há mais de um console, dois ou mais operadores podem compartilhar o trabalho. Cada operador pode ter uma determinada responsabilidade para processos diferentes. Algumas informações pode estar disponíveis apenas no monitor do supervisor.

Se programado, o operador pode operar toda a planta através de seu console, abrindo e fechando válvulas, ligando e desligando motores e posicionando válvulas.

A interface homem máquina é um meio conveniente do operador se comunicar com o processo, através do computador. Do lado humano da interface, tem-se estação de operação com monitor, teclado, mouse e impressora. Este equipamento permite a visão rápida e fácil das condições do processo, comunicação com o computador e geração de relatórios. Do lado do computador da interface, há um sistema de programas projetadas para convertes as entradas do operador para uma forma usável no computador e para converter a informação do computador para uma forma usável pelo operador. Assim, a interface de console permite o operador dirigir o computador de certo modo predeterminado que ira modificar o comportamento do sistema de modo previsível. Por exemplo, se o operador quer mudar o valor do alarme de alto de uma temperatura, ele diz ao computador que ele quer fazer isso, o computador solicita o novo valor, verifica se é razoável e válido (e.g., não se pode ter um alarme de 120 ^{o}C se a faixa de medição é de 0 a 100 ^{o}C) e, se ele é razoável, o novo limite de alarme de alto é convertido para um formato de computador e armazenado no arquivo de dados central. A partir daquele momento, a função de monitoração irá usar este novo valor para alarmar a temperatura.

Receita

Receita é uma coleção de informação que define as matérias prima, equipamentos e procedimentos requeridos para produzir um determinado material processado de batelada acabada. Os testes para completar com sucesso o processamento do produto e os critérios de aceitação são também parte da receita. Na receita, estão incluídos as quantidades e valores alvo para o produto desejado.

Geralmente quem cria o produto e define o processo batelada é o químico. Na realidade, o criador da receita pode ser um farmacêutico, cozinheiro, padeiro, cervejeiro ou qualquer pessoa envolvida no desenvolvimento de fontes para fazer determinado produto. Em geral, esta pessoa é responsável pelos procedimentos de pesquisa e desenvolvimento.

Tipicamente os passos para definir uma receita são:

1. Um químico desenvolve o processo no laboratório ou na planta piloto, através de uma receita geral.
2. Um engenheiro produz uma receita local da receita geral do químico.
3. O engenheiro de controle adapta a receita local para adequar ao equipamento específico da planta, criando uma receita mestre.
4. O operador ajusta a receita mestre para fazer uma batelada específica, criando uma receita de controle.

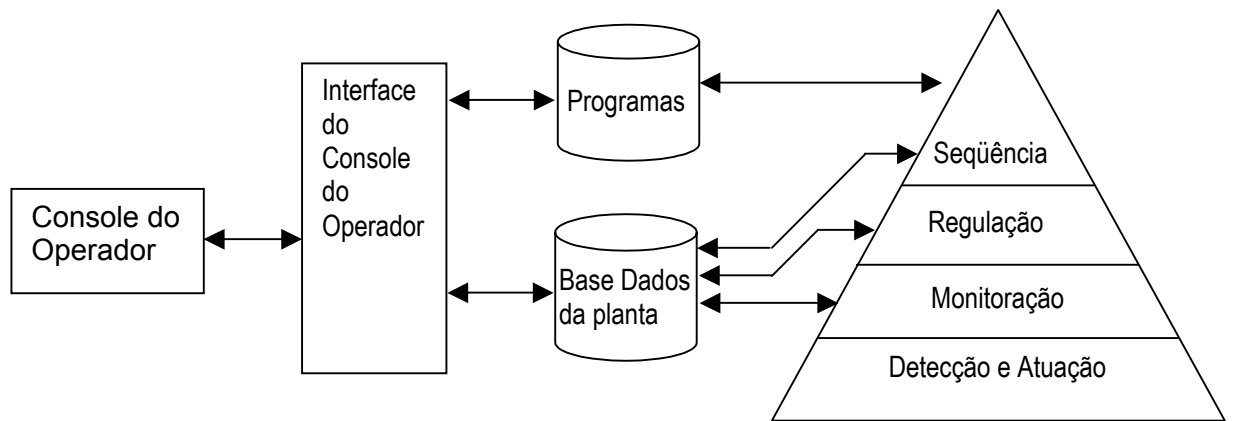



Fig. 14.12. Níveis hierárquicos de controle

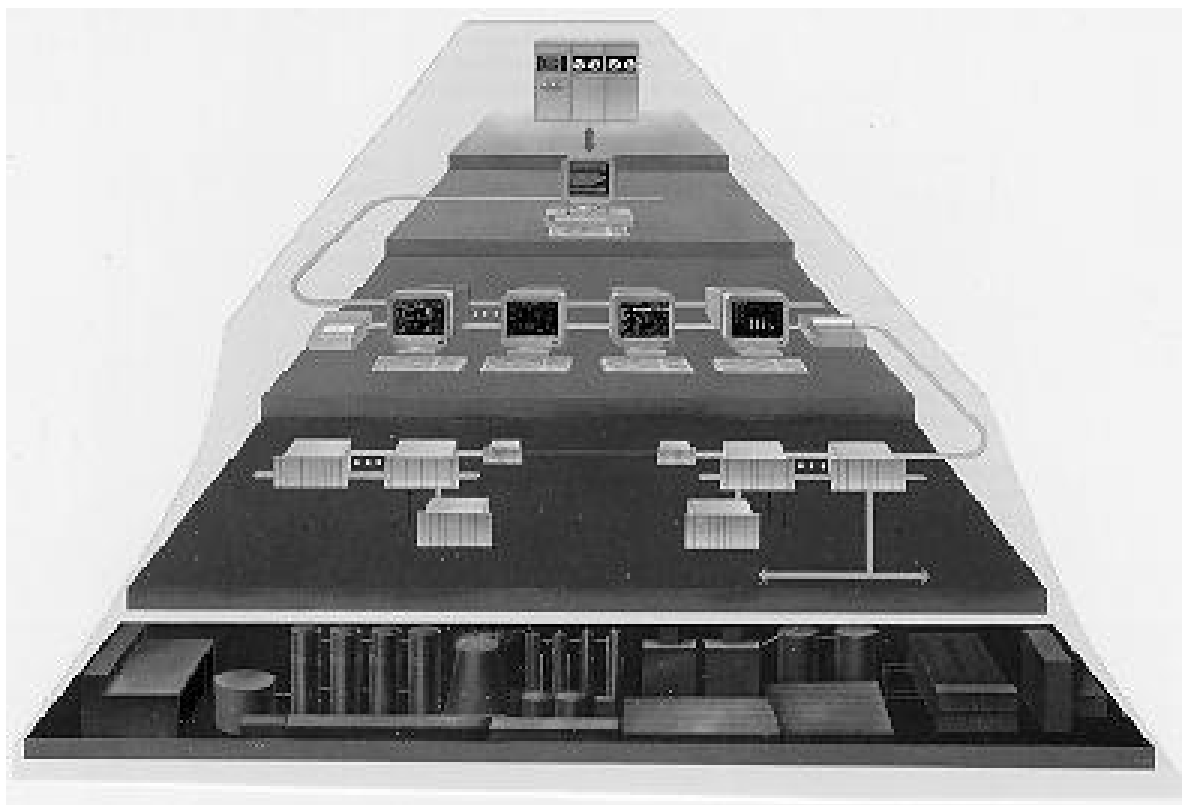



Fig. 14.13. Instrumentação para diferentes níveis hierárquicos de monitoração e controle

. Controle da Batelada

3.1. Introdução

Há duas técnicas básicas e diferentes para controlar um processo batelada:

1. controle seqüencial temporizado
2. controle acionado por eventos

3.2. Controle de batelada seqüencial temporizado

Esta técnica de controle batelada envolve a execução de tarefas específicas baseadas apenas no tempo. O pessoal de pesquisa e desenvolvimento e o engenheiro de aplicação elaboram uma seqüência correta com tempos determinados para fazer um produto repetitível. Esta técnica pode ser usada quando não se tem reação exotérmica ou outra condição perturbadora que possa causar resultados indesejados. Geralmente inclui as funções de misturar, mexer, agitar e fundir. O tempo de cada passo da seqüência é estabelecido pelo engenheiro de aplicação, determinando o tempo requerido de exposição, máximo e mínimo, requerido para a repetição. O tempo depende também do tipo e limitação do equipamento usado na batelada.

Seqüência manual

Seqüência manual é aquela em que os vários passos seqüenciais são executados com intervenção do operador do processo. A seqüência manual pode ser feita quando não há problemas de segurança envolvidos e o erro do operador resulta apenas em produto fora de especificação.

Seqüência autônoma

Seqüência autônoma é a que requer a intervenção do operador para iniciar cada passo individual da seqüência. A duração de cada passo é automática. Geralmente é aplicada em misturas simples de vários componentes para obter um produto simples. A adição e manipulação são programadas e somente requer a supervisão do operador, que verifica se cada passo autônomo é feito satisfatoriamente e inicia o próximo passo independente. Esta técnica é usada quando não se tem risco de segurança ou poluição.

Seqüência integrada

Seqüência integrada possui processos que são controlados do início ao fim pela partida e termino de cada passo autônomo da seqüência temporizada automaticamente. Um operador é requerido para garantir que todos os materiais e utilidades estão disponíveis antes de iniciar o sistema de controle da seqüência. Assim que o processo parte, ele continuamente adiciona, mistura, aquece ou resfria em tempos predeterminados. O operador supervisiona o processo e verifica se o equipamento utilizado em cada passo autônomo está funcionando corretamente. Uma das responsabilidades do operador é verificar que o controle automático funciona corretamente e fornecer o nível apropriado de controle para todos os passos autônomos seqüenciados.

3.3. Controle acionado por eventos

Esta técnica de controle batelada envolve fazer tarefas específicas baseadas na ocorrência de certos eventos do processo. Estes eventos indicam ao operador ou ao sistema de controle que uma tarefa específica deve ser feita. A receita determina quais são estes eventos e quais as ações a serem tomadas. A seqüência apropriada destes eventos específicos também são determinadas para se obter um produto repetitível. Esta técnica é aplicada principalmente em processos onde há reações exotérmicas ou qualquer outro distúrbio que possa causar resultados indesejados.

Uma exigência fundamental para operar com sucesso um processo de controle de batelada acionado por evento é instalar e manter os instrumentos corretos.

Eventos do processo

O processo de controle batelada acionado por evento inclui as funções de transferência e mistura de materiais, aquecimento e resfriamento e diluição para obter um resultado desejado. Este resultado não é previsível em um sistema de referência de tempo e requer a monitoração das variáveis do processo como vazão, nível, temperatura, pressão, análise e pH. O início e fim de cada passo depende de valores destas variáveis de

processo ou da ocorrência de determinada condição. Um processo acionado por evento requer proteção ambiental, segurança do pessoal, consistência do produto e produtividade.

Para a seleção correta dos instrumentos de monitoração e controle, deve-se entender a dinâmica do processo que determina se um dispositivo pode fornecer a qualidade desejada da medição. Estas condições de processo incluem: faixa de temperatura, umidade, vibração, corrosão (interna e externa), qualidade da alimentação de potência, qualidade do ar de instrumento, limpeza dos materiais do processo, revestimento do processo, interferência eletrostática e de rádio freqüência.

4. Automação da Batelada

4.1. Introdução

Virtualmente, todo processo de batelada é automatizado, em algum grau. A automação pode variar de um processo controlado manualmente com ajuda de poucos sensores até controle com computador através de software sofisticado e muitos sensores e instrumentos de análise.

Mesmo nos casos em que o controle é manual, são usados sensores para informar o status do processo ao operador, tais como aquecimento, mistura ou transferências de produtos entre vasos. Mesmo uma ação manual é feita com o operador se baseando em indicações. Assim, os sensores representam a base e a parte mais crítica da automação do processo batelada.

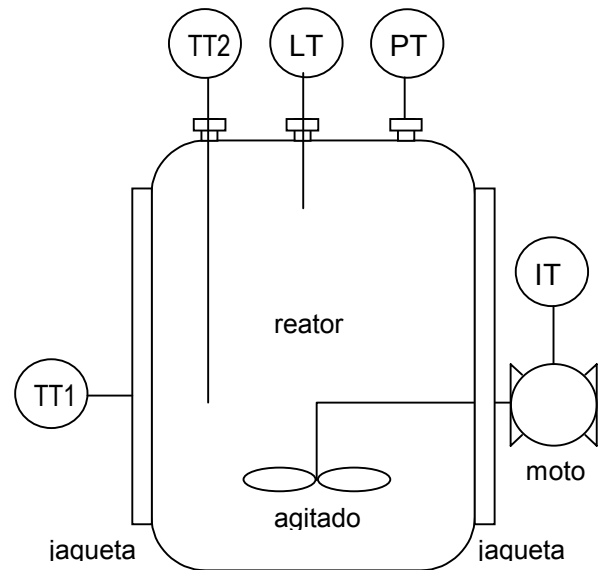



Fig. 14.14. Reator com medições da
Temperatura da jaqueta (TT1)
Temperatura do reator (TT2)
Nível do reator (LT)
Pressão do reator (PT)
Velocidade, através da corrente do motor

4.2. Medição das variáveis

O coração do processo batelada é um reator. Geralmente o reator é revestimento internamente com vidro para suportar os agentes corrosivos, é equipamento com um agitador e possui uma jaqueta envolvente para aquecimento e resfriamento.

As variáveis medidas geralmente incluem a temperatura e pressão no reator, temperatura na jaqueta, nível do fluido dentro do reator.

Temperatura e nível são os mais importantes, porque a agitação, aquecimento e resfriamento à pressão atmosférica são as operações mais freqüentes no reator. A velocidade do agitador, as vazões de entrada e saída e as propriedades dos produtos da reação (pH, densidade, viscosidade, cor) são detectadas para o controle eficiente do reator, mas estas medições não são essenciais para todas as operações. A **Fig. 14.**14. mostra o reator com os principais sensores.

Temperatura

Geralmente, a medição de temperatura não é difícil. O sensor mais usado é o detector de temperatura a resistência (RTD) com um transmissor eletrônico. O RTD é muito preciso e, diferente do termopar, não requer fiação especial.

O sensor de temperatura é protegido de dano mecânico ou corrosão por um bulbo, que é colocado dentro de um poço, por conveniência de processo. Mesmo que o reator tenha um número limitado de bocais no topo, um destes bocais é dedicado ao sensor de temperatura.

Se o reator contem tão pouco líquido que ele deixa de cobrir o sensor de temperatura, o sensor pode ser montado em uma saída do fundo. O sensor é montado através de uma válvula com passagem plena. O aterramento do sensor de temperatura e do transmissor deve ser analisado, e feito, se necessário mas sempre corretamente.

Nível

A medição de nível no reator é muito mais complicada que a da temperatura. Os motivos das complicações são:

1. as propriedades (densidade, condutividade elétrica) das quais o nível é inferido variam muito, por causa da variação da temperatura e da composição do produto.
2. dificuldades elétricas e mecânicas de instalação, provocadas pelo existência do agitador, geometria do tanque

A agitação violenta que ocorre dentro do reator requer um sensor de nível robusto e que produza um sinal válido, mesmo com os redemoinhos, ondas, espumas na superfície do topo. Às vezes, o sensor interno e o transmissor montado externamente ao reator devem também ter classificação elétrica especial para atender as exigências da classificação da área. Os sensores de pressão e temperatura são mais autocontidos que os de nível.

Por isso, é difícil escolher o sensor de nível. O sensor que atende uma aplicação pode ser incompatível com outra aplicação. O sensor típico é o de pressão diferencial, desde que a densidade do produto seja constante. O sensor capacitivo requer uma ancoragem por causa da agitação. O sensor ultra-sônico não suporta a alta temperatura existente. Pode-se usar células de carga, para inferir nível do peso, mas as instalações complexas as tornam caras.

A escolha do sensor de nível deve ser feita cuidadosamente, considerando todos os parâmetros da seleção:

1. metalurgia e configuração do reator,
2. faixas de pressão e temperatura do processo,
3. características do líquido,
4. natureza da agitação,
5. classificação da área,
6. práticas de manutenção

Pressão ou vácuo

A medição de pressão e vácuo é a mais fácil e direta possível. A presença de vapores corrosivos pode requerer o uso de selo (diafragma)

Vazão

As medições da vazão de entrada e de saída também não apresentam problemas. O cuidado mais importante está relacionado com o fluido e não com o medidor. Deve-se garantir que o fluido tenha uma única fase (liquida, gás ou pó). A especificação do medidor depende do tipo do fluido, faixa de medição, viscosidade, densidade, precisão requerida, corrosividade. Atualmente, é muito comum o uso de medidores mássicos de vazão.

Análise

Além das medições das variáveis clássicas de temperatura, nível, pressão e vazão, o controle de um processo batelada pode requerer ou ser ajudado pelo conhecimento de outras variáveis, que são mais difíceis de serem detectadas diretamente, como pH, análise, umidade. Antigamente, estas variáveis eram determinadas no laboratório, fora da linha do processo. Atualmente, elas podem ser medidas, com precisão, em linha.

Esta tendência de usar transmissores e indicadores de análise em tempo real é suportada pelo avanço da tecnologia (advento do microprocessador eletrônico), pela diminuição dos preços dos instrumentos e pela simplificação de operação e manutenção destes instrumentos. O analisador (este termo é

infeliz, mas mesmo assim o autor o usa) em linha e tempo real substitui a seqüência tradicional de

1. fazer amostragem do processo
2. levar amostra para o laboratório
3. fazer a análise no laboratório
4. levar de volta para o processo o resultado da amostra (às vezes, a batelada já acabou).

Para o processamento da batelada, é muito desejável ter instrumentos de análise (este é o nome mais apropriado para o analisador) que não requeiram sistemas complexos de amostragem, invólucros separados ou a atenção constante do pessoal de manutenção. Os transmissores de pH, condutividade elétrica (ou resistividade) e densidade já são simples. Os mais complicados e que requerem sistemas de amostragem e algum condicionamento do fluido, são os que envolvem medição de cor, umidade, propriedades espectrográficas (a base de ultravioleta e infravermelho).

Os instrumentos de análise mencionados até agora podem, isoladamente ou em conjunto, ser usados em qualquer passo de um processo de batelada. Alguns processos requerem instrumentos muito específicos e especiais, tais como indicador de conteúdo de oxigênio, consistência, crescimento e densidade de célula em biotecnologia.

4.3. Instrumentação Modular

Embora o reator seja o centro da operação de batelada, outros equipamentos de processamento são usados, tais como filtros, colunas de destilação, secadores, cristalizadores. Estes equipamentos, como o reator, também requerem sensores e instrumentos de análise.

A instrumentação destas unidades, porém, estão sendo simplificadas, pela tendência nas industriais orientadas para batelada, a empregar equipamento tendo um projeto padronizado que adota uma filosofia modular. Cada extrator jaquetado com vapor, por exemplo, poderia vir junto com seu agitador, totalizador de vazão nas tubulações de reagente, monitor de nível, controlador de temperatura, regulador de pressão em linha de gás inerte e uma válvula de segurança. Com estes tipos de instrumentos padronizados e disponíveis em pacote, as únicas escolhas a fazer envolvem o tamanho dos equipamentos e a metalurgia.

Esta padronização permite o enfoque de combinar e encaixar qualquer módulo em qualquer batelada. Os módulos são montados ou combinados através de conexões flexíveis e distribuidores extensivos. O uso deste enfoque modular, em vez de construir ou adaptar uma planta para cada nova linha de produto dá ao processo de batelada mais flexibilidade e versatilidade em atender as condições dinâmicas de mercado.

4.4. Controle de Batelada

Além das funções de sentir e analisar, a outra grande componente da automação é a função controlar. O controle de batelada, independente do processo envolvido, tem todas as características da receita usada para fazer uma comida. O controle de batelada é uma seqüência cronológica de eventos ou ações, cada uma representando um passo finito. O controle é registrado como uma receita: com os ingredientes (reagentes) e equipamentos usados especificados *a priori*, cada passo definido por uma duração, temperatura, pressão e outras variáveis. O registro é chamado de folha da batelada.

Antes de se tornar um documento oficial compreensivo com várias páginas, uma folha de batelada deve ser revista constantemente. A revisão deve cobrir as especificações dos vários eventos e ações, sua seqüência, quem deve executá-los, o nível de supervisão e outras tarefas similares. Uma vez consensada, a folha de batelada se torna a base para operar todas as bateladas sucessivas de um dado produto. Nas indústrias farmacêutica e alimentícia, esta folha de batelada pode se tornar uma parte integral da documentação para determinado produto ou alimento fabricado.

As folhas de batelada formam a base para o controle de produção, independente da automação envolvida. O que pode variar é a confiança nos instrumentos de monitoração e o grau de intervenção humana versus do computador.

Em um extremo, todos ou a maioria dos passos são feitos de modo manual. Isto é encontrado apenas em processos muito simples, com poucos passos. O reator é carregado com reagentes manualmente, com um bomba. Válvulas são abertas ou fechadas manualmente. O nível é medido por uma régua, através do topo do reator. O fim de um passo é determinado subjetivamente pelo operador, que pode olhar uma janela transparente ou cronometrar um tempo. Algum instrumento de indicação ou controle pode ser empregado, montado no topo do reator.

Mais comum, é um processo batelada semi ou totalmente automático. Aqui o controle e monitoração podem variar de instrumentos pneumáticos ou eletrônicos dedicados, para painéis de controle locais ou sistemas digitais distribuídos (controladores lógico programáveis, sistema digital de controle distribuído, computadores pessoais rodando aplicativos).

Na operação de batelada semi-automática baseada em painel de controle centralizado, os painéis possuem botoeiras para ligar agitadores, válvulas solenóides, bombas e outros equipamentos. Tais operações remotas são necessárias em caso de válvulas grandes e inacessíveis, processos com produtos tóxicos ou com substâncias perigosas. Entre as válvulas candidatas à automação, estão a válvula de saída de fundo, as válvulas de alimentação, as válvulas entrada-saída para passar o fluido de aquecimento ou resfriamento para a jaqueta. Os painéis podem contem ainda: alarmes, indicadores remotos, algum controlador analógico e estações de liga-desliga para bombas de transferência.

Em operações totalmente automáticas, são utilizados CLPs, CPs com aplicativo supervisório ou controladores digitais single loop, quando a aplicação possui até 500 pontos de entrada e saída de controle.

Estes sistemas baseados em microprocessador, que cada vez mais custa menos e tem maior capacidade, são muito confiáveis, empregam uma variedade de programas aplicativos já aprovados e podem ser usados, com algumas salvaguardas, em locais classificados e agressivos. A maioria destes sistemas possui uma interface homem-máquina muito amigável, geralmente com monitores de vídeo a tubo de raio catódico (TRC). Instrumentos virtuais podem simular as partes frontais de instrumentos convencionais.

Estes sistemas são apropriados para atualizar sistemas existentes manuais ou semi-automáticos. Sua operação não requer sala de controle tradicional, que pode não existir nestas instalações antigas.

A automação completa de grandes operações de batelada geralmente empregam sistema digital de controle distribuído (SDCD). Embora os SDCDs tenham aparecido na década de 1970, seu uso em batelada é recente. Os primeiros SDCDs foram usados em grandes complexos petroquímicos e grandes refinarias de petróleo, que empregam controle contínuo.

Posteriormente, os fabricantes de SDCDs desenvolveram programas aplicativos para processo batelada. Antes, foi necessário o desenvolvimento de uma linguagem orientada para batelada. O desafio foi combinar as instruções do controle seqüencial com os elementos do controle contínuo. Outras temas foram:

1. programação da batelada para otimizar o uso do equipamento
2. manipulação de receitas
3. rastreamento da batelada
4. coleta e relatório dos dados
5. alarme efetivo
6. interface amigável de operação, incluindo mensagens interativas, procedimentos em linha, intervenção do operador.

4.5. Característica da Instrumentação

Devido a natureza descontínua dos processos bateladas, o seu controle pode ser facilmente dividido em partes discretas, que são depois arranjadas em ordem hierárquica. Isto pode ser visto na **Fig. 14.**14, que ilustra a maioria dos componentes de um processo batelada.

1. A ação mais baixo nível é chamada de **instrução** (*statement)*.
2. Várias instruções formam um **passo** (*step*).
3. Vários passos compõem uma **fase**.

4. As diversas fases podem ser combinadas em uma **operação**.
5. Finalmente, uma seqüência de operações constitui uma **batelada** (*batch*).

A semântica pode variar de aplicativo de sistema de controle para outro, mas o conceito usualmente segue a descrição acima e a ordem segue intuitivamente as tarefas feitas pelo operador.

O formato pode variar muito: de tabelas lógicas para diagramas de bloco e tabelas verdade e de diagramas seqüências de tempo para linguagem de alto nível.

Uma receita é uma coleção de informações que converte uma seqüência genérica de operações de batelada em um programa para fazer um determinado produto. As receitas podem ter um formato de tabela, com as entradas especificando as quantidades de reagentes, duração de diferentes operações e outras variáveis.

Em uma planta verdadeiramente modular, pode não ser suficiente personalizar uma seqüência de operações com as quantidades de ingredientes atribuídas. É necessário, também, que o equipamento esteja conforme cada batelada. Esta alocação de equipamento é a principal tarefa de um planejador ou programador (*scheduler*),q eu pode funcionar automaticamente em sistemas altamente desenvolvidos de controle de batelada.

O planejamento de uma batelada incorpora informação sobre as unidades de processamento, tempo, quantidades de produtos finais, fontes compartilhadas (e.g., solvente em um tanque de alimentação). Ele usa programação linear para otimizar o uso do equipamento e maximizar a produção. Uma vez que uma receita está relacionada com a informação do processo, um planejador se preocupa com os equipamentos. Ao lado da receita e do planejamento, outro importante aspecto da batelada é o rastreamento (*tracking*), que consiste de documentar o curso de uma batelada, do início ao fim.

Em resumo, a relação entre estes vários elementos do programa aplicativo da batelada pode ser estabelecida assim: Uma seqüência de batelada específica é criada, superpondo uma receita em um programa aplicativo de batelada, com uma entrada de um programa de planejamento. A implementação desta seqüência será rastreada através de toda batelada.

Detalhes da linguagem de batelada, manipulação da receita e planejamento da batelada pertencem ao domínio do engenheiro de sistema, e o operador da planta não precisa estar relacionado com estes detalhes. Porém, a representação visual efetiva do controle de batelada em uma interface de operação é muito importante. a qualidade desta *janela para a batelada* é o que pode eventualmente ajudar ou atrapalhar a execução correta do controle batelada.

O progresso de uma batelada controlada por um SDCD pode ser visto em um display gráfico dinâmico que simboliza um plano de fluxo e mostra mensagens anunciando vários passos, fases, operações e batelada. Valores associados com qualquer malha de controle contínuo PID (Proporcional Integral Derivativo) dentro do sistema podem também ser parte de tal gráfico. Mensagens orientando o operador para inicializar uma ação pode aparecer em uma área projetada do monitor. Finalmente, deve haver alarmes ativos independente do display mostrado na tela.

Entre as características que diferenciam o SDCD para batelada do SDCD para processo contínuo é a necessidade de coletar e relatar todos os parâmetros do processo em uma base *por batelada*. O SDCD deve rastrear lotes de matérias prima e quantidades usadas por cada batelada. Todos os dados devem ser facilmente arranjados em diferentes relatórios, e.g., relatório da batelada final, relatório dos status da batelada, relatório dos desvios finais, relatório dos status da planta. As variáveis de tendência para várias bateladas devem ser armazenados e recuperados para comparação e análise em uma tela do SDCD e transportáveis para CPs.

4.6. Características desejáveis

A instrumentação usada para controlar uma planta de processo batelada, que faz vários produtos e tem mais de 2000 pontos de entrada-saída de controle, é certamente modular. Para uma planta com estas

características, é preciso um sistema de comunicação digital entre os instrumentos montados remotamente em várias unidades, de modo que é necessário as seguintes facilidades:

Base de dados global
Linguagem de alto nível
Intertravamentos
Validação
Documentação
Módulos I/O remotos
Interface de calibração
Capacidade CIM

Base de Dados Global

A base de dados global permite o acesso da informação em qualquer ponto do sistema sem necessidade de programação adicional. Todos os pontos são acessíveis instantaneamente para quaisquer programas ou intertravamentos sem interfaces para qualquer dispositivo no barramento de dados.

Linguagem de alto nível

Uma linguagem de alto nível, parecida com inglês, é preferível a qualquer outro programa. Um programa de batelada em linguagem de alto nível permite ao operador seguir manualmente passo a passo, através das linhas de uma seqüência, tornando a pesquisa de defeito e a eliminação de bug mais fácil.

Durante esta avaliação, os usuários se familiarizam com a linguagem e entendem as implicações de diferentes instruções em si. Questões detalhadas precisam ser colocadas acerca de tais assuntos como o planejador da batelada, como tratar as fontes compartilhadas, como várias bateladas podem ser rastreadas ao mesmo tempo na tela, qual relatório está disponível e como os dados do arquivo podem ser carregados.

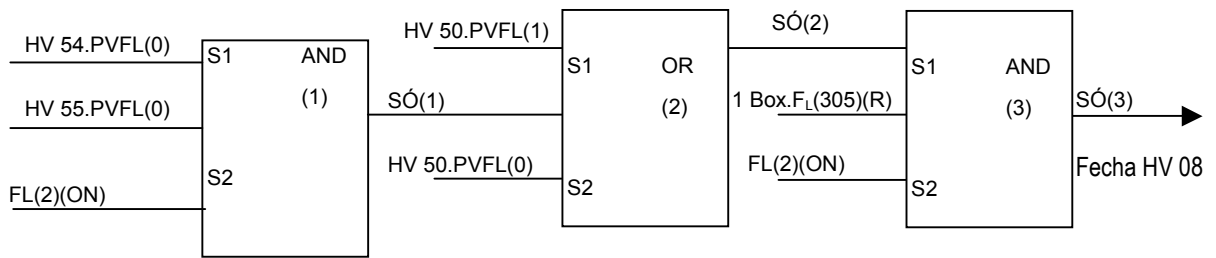



Fig. 14.15. Tabela lógica empregando portas OR e AND, flags de programas (F_L) e status das válvulas liga-desliga (fechada = 0 e aberta = 1).

```
SEQUENCE TOTALIZE(PM; POINT ACCUMPM1)
    EXTERNAL FC651209,START01,FQ6512,GRANDT12,RUNTOT   FC651
&            ,FQ6513,RUNTOT13,HV650047,HV650048,TARGE   ,TARG
&            TOTON13,SPN6512,SPN6513,NN14,NN15

    LOCAL SPL012=3.5
    LOCAL SPL013=3.5

    PHASE INITIAL
    STEP ZERO
      SET FL(1)=OFF
      SET FL(2)=OFF

PHASE MONITOR
    STEP ONE
       IF START01.PV=DISABLE THEN GOTO L20
       SET HV650047.MODATTR=PROGRAM

       IF TOTON12.PV=OFF_TOT THEN(SET HV650
&                                                  TWO)

       SET FC651209.MODATTR=PROGRAM
       IF FL(1)=ON THEN GOTO L5
       SET FC651209.MODE=AUTO
       SET FC651209.SP=SPN6512.PV
       SET FQ6512.AVTV=TARGET12.PV
       SET FQ6512.AVDEV1TP=TARGET12.PV-(NN1  V)
       SET HV650047.OP=CDIWFEED
       IF FQ6512.STATE=RUNNING THEN GOTO L5
       SET FQ6512.RESETFL=ON
       SET FQ6512.STARTFL=ON
L5:    SET RUNTOT12.PV=FQ6512.PVCALC
       IF FQ6512.AVDEV1FL=ON THEN (SET FC65   9.    TO;SE
&       =SPL012; SET FL(1)=ON)
       IF FQ6512.AVTVFL=ON THEN (SET FC6512        T FC6
&      FC651209.OP=-6.9;SET GRANDT12.PV=GRAN    Q6512
&      =OFF;SET HV650047.OP=CLOSE;SET FQ6512         6512.
&      SET FQ6512.COMMAND=STOP)
       ELSE GOTO STEP TWO
L20:   SET TOTON12.PV=OFF_TOT

     STEP TWO

       IF START02.PV=DISABLE THEN GOTO L40         BLE FC
       SET HV650048.MODATTR=PROGRAM
       IF TOTON13.PV=OFF_TOT THEN GOTO L45
       SET FC651309.MODATTR=PROGRAM
       SET FQ6513.AVTV=TARGET13.PV
       SET FQ6513.AVDEV1TP=TARGET13.PV-(NN15  V)
       SET HV650048.OP=ADIWFEED
       IF FL(2)=ON THEN GOTO L35
       SET FC651309.MODE=AUTO
       SET FC651309.SP=SPN6513.PV
       IF FQ6513.STARTFL=ON THEN GOTO L35
       SET FQ6513.RESETFL=ON
       SET FQ6513.STARTFL=ON

L35:   SET RUNTOT13.PV=FQ6513.PVCALC
       IF FQ6513.AVDEV1FL=ON THEN (SET FC651   9.    TO;SE
&      SPL013;SET FL(2)=ON)
```


Fig. 14.16. Um programa de batelada dividido em **operações**, que consistem de **fases**, que incluem **passos** e cada passo é constituído de **statement.**

Intertravamentos

A linguagem de batelada de alto nível não deve ser usada para atuar intertravamentos, especialmente os de segurança. Em vez disso, deve usar programas de baixo nível e resposta rápida baseados, por exemplo, em diagramas ladder ou blocos lógicos. Os intertravamentos de segurança devem ser separados totalmente dos programas aplicativos, para assegurar a integridade. O *debugging* dinâmico e a impressão anotada de intertravamentos devem também ser requisitados.

Validação

O sistema de controle para batelada de possuir as seguintes características:

1. validação de dados e do sistema
2. capacidade de carregar programas em linha (sem desabilitar controladores ou outros programas),
3. evitar falha de ponto isolado
4. implementar redundâncias
5. modos de falha
6. tempo de resposta do sistema
7. habilidade de se interfacear com outros sistemas digitais, como CLP
8. habilidade de usar CPs como estação de engenharia
9. capacidade de diagnóstico
10. possibilidade de se expandir
11. gerenciamento de alarmes
12. proteção de segurança (security) do sistema.

Folha de batelada sem papel

O sistema deve gerar documentos sem papel, ou seja, em vez de ter documentos em papel físico (hard copy), o operador interage com a tela e teclado de computador. Esta característica é obtida de rastreamento da batelada e geração de relatórios. Para tornar realidade isso, também é requerido redundância do equipamento das partes críticas do sistema de controle, proteção de segurança do sistema com senhas e validação total do sistema.

Módulos I/O remotos e consoles de operação remotos

Atualmente já são disponíveis módulos I/O remotos, certificados para montagem em áreas classificadas.

Interface de calibração de dispositivos inteligentes

Esta característica permite o uso de transmissores inteligentes que se comunicam com o sistema de controle, através do sistema de comunicação compatível (HART, Fieldbus, Profibus).

Sistemas Expert

A aplicação de sistemas expert que já são disponíveis em CLP, livremente formatados pelo usuário ou em pacotes fechados.

Capacidade CIM (Computer Integrated Manufacturing)

Isto significa integração do sistema de controle da batelada com a área de manufatura, com computadores externos para compra, venda, controle de qualidade, inventário de produtos. A responsabilidade desta implementação é do usuário, porém, o fabricante do sistema de controle deve prover as interfaces e links para integrar todo sistema.

4.7. Segurança

A instrumentação de uma planta pode ser dividida em três categorias, com relação à segurança da planta:

1. Medição e controle para manter as condições de operação seguras.
2. Instrumentação básica para indicar e alertar as condições correntes de operação.
3. Intertravamentos que param o processo em caso de condições inseguras.

As condições críticas da planta geralmente são aquelas que envolvem pressão e temperatura (aquecimento) e as que envolvem substâncias tóxicas e perigosas.

Se uma operação é considerada perigosa, pode-se considerar a redundância de certos instrumentos ou intertravamentos ou ambos. Todos instrumentos devem ser projetados para as condições de segurança em falha, ou seja,

em caso de falha no processo, os instrumentos vão para a condição segura.

Os intertravamentos fazem parte de qualquer sistema de automação de processo, mas em planta de processo batelada, eles são mais importantes. É importante entender se um intertravamento específico é projetado para segurança ou para operação. Por exemplo, o desligamento de uma bomba por causa de alta pressão é por razão operacional e não por causa de segurança. Porém, o fechamento do vapor de uma jaqueta, quando a temperatura sobe, é um intertravamento de segurança e não operacional.

Os intertravamentos de segurança devem ser implementados independentemente do sistema de controle regulatório do processo. Isto significa que, em caso de SDCD ou CLP, o controle da operação do processo (que possui intertravamentos) é configurado em linguagem de batelada e o intertravamento de segurança em ladder. No caso do CLP, o painel de operação deve ter alimentação independente do sistema de intertravamento de segurança.

As regras estritas devem estabelecer como e quando um intertravamento de segurança pode ser alterado, acessado ou mantido. Desativar ou bypassar um intertravamento de segurança deve ser propositadamente difícil de ser feito.

Todas as regras de segurança para os processo contínuo são validas para o processo batelada, pois o processo batelada pode ser visto como uma seqüência de vários processos contínuos.

4.8. Complicações

A automação da operação de uma batelada se complica mais ainda quando se tem aplicação na indústria farmacêutica e de alimentos, por dois motivos:

1. o sistema deve ser validado
2. a operação ocorre em ambiente estéril.

Validação é uma exercício que documenta o fato que um sistema de controle faz as funções projetadas e previstas com reprodutitividade. A validação do sistema de controle se aplica a hardware, software e periféricos associados. Ela inclui todos os estágios do desempenho do sistema de controle, do projeto e especificação até teste, implementação, instalação e operação.

A validação coloca ênfase especial no sistema de proteção, sua manutenção, retenção de registros e revisões periódicas futuras. Outro fator importante é a garantia que os operadores tenham sido treinados corretamente. A validação inteira deve ser planejada, a priori. Manter bons registros e documentar todas as tarefas são críticos.

A validação por computador é apenas um aspecto da documentação requerida na indústria farmacêutica. Outros aspectos são:

1. quantidades das matérias primas
2. listas de bateladas assinadas
3. resultados das calibrações
4. documentação de mudanças na estratégia de controle
5. todas as anormalidades
6. dados dos testes de análise

A documentação histórica detalhada sobre o desempenho da variáveis mais críticas devem ser mantidos por determinado número de anos após o fim e liberação de uma batelada. Este período mínimo depende da vida de prateleira do produto específico.

As operações em ambiente estéril em indústria farmacêutica e de alimentos tem exigências especificas do equipamento de automação. Estas exigências começam com os sensores, que devem usar materiais neutros e altamente polidos, minimizam as reentrâncias onde as substâncias poderiam se acumular, exigem conexões especiais, requerem desmontagem rápidas das partes *molhadas* de alguns instrumentos. Os invólucros dos instrumentos devem ser de aço inoxidável especialmente polido, com mínimas reentrâncias e à prova d'água. O número de conduítes se comunicando com uma área estéril deve ser limitado.

Fig. 14.17. Trecho de Folha de Batelada

Instruções de Operação	Data	Tempo	Operador
1. Encher a coluna até 70% do nível, com água			
2. Comparar o nível através do visor de nível com a indicação com a régua. Se a diferença for maior que 10%, reportar ao supervisor.			
12. Colocar FRC 05 em modo automático e estabelecer o ponto de ajuste. Aquecer a coluna pela válvula de controle de vapor em manual e abrir suficiente para dar uma vazão de 300 kg/k no FRC 05			
13. Quando a coluna começar a aquecer, alimentar a coluna colocando FRC-04-1 em auto em uma vazão de 5,0 e ligar a bomba PU 03 ou PU 05. Não exceder a vazão de 5,5 kg/h até que a coluna se equilibre. Em caso de dificuldade de ter nível, abaixar ou cortar o vapor			
14. Aumentar a vazão de vapor para 400 kg/h e ajustar a alimentação para manter o nível em torno de 50%. Nota: estes ajustes podem estar entre 4,0 e 7.0.			
15. Depois de aproximadamente 2 horas, a coluna deve estar em 100 °C. Neste ponto, tente manter uma temperatura de 125 a 135 °C. Abrindo a válvula de saída ajuda a manter a temperatura acima de 110 °C (abrir a válvula esfria a coluna)			
16. Ligar a bomba PU 040 ou PU 12			
17. Ajustar manualmente a vazão do vapor para obter uma temperatura da bandeja de 130 °C. Também observar o nível, que não pode estar abaixo de 25%.			
18. Quando a coluna se estabilizar, ajustar o controlador de temperatura em auto ou manual para controlar a temperatura em 130 °C.			

Instalação

Exemplo de tarefas feitas durante a fase de instalação de um sistema de controle:

1. Na instrumentação
   a) Confirmar continuidade da fiação de todos os instrumentos.
   b) Atuar válvulas
   c) Simular transmissores
2. Verificar as condições ambientais, como temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa.
3. Verificar aterramentos
4. Avaliar ruído e interferência elétrica, condicionamento da potência de alimentação
5. Fazer testes diagnósticos em todos os componentes.
6. Fornecer documentação para completar com sucesso todas as tarefas.
7. Manter registros de todas as alterações feitas.

Diferenças entre processo batelada e contínuo

Muitas pessoas argumentam que todo processo é batelada, pois tem uma partida e uma parada. Deste modo, um processo contínuo é simplesmente uma batelada muito longa. Ou então, que um processo batelada é uma porção de conjuntos contínuos independentes. Estas visões, porém, desprezam muitas diferenças óbvias entre o processo batelada e o contínuo.

A natureza descontínua das operações bateladas pode ser vista através de cada batelada. Todo processo batelada se desdobra de uma maneira seqüencial. Quantidades finitas de reagentes são alimentadas em cada batelada, em vez de serem alimentados continuamente. A transferência de uma unidade para a próxima ocorre somente quando uma operação é completada, em vez de fluir continuamente. Os produtos finais são coletados em uma base por batelada e estão sempre associados com uma determinada batelada. As receitas são usadas para diferentes tipos de produtos, enquanto que o processo contínuo trabalha com os mesmos parâmetros por longos períodos de tempo.

Com relação aos instrumentos de controle, isto significa que o processo batelada envolve um maior número de dispositivos digitais. Tipicamente, em um processo batelada, tem-se de 15 a 35% de sinais analógicos e 65 a 85% de sinais digitais. Há uma predominância de válvulas liga-desliga, válvulas solenóides, chaves limite. Os sistemas de alarme de intertravamento são fundamentais.

Em geral, o controle contínuo PID é pouco importante em controle de batelada, porque as bateladas se realizam em um estado de mudança, diferente do ambiente estável mantido pelos pontos de ajuste do controlador PID. Obviamente, há processos batelada (e.g., fermentação) que envolvem muitos controles PID.

O processo batelada é automatizado com muito mais modularidade e flexibilidade que o controle contínuo. Por isso, o sistema de automação de um processo batelada deve prever as possíveis novas receitas, as modificações potenciais das receitas existentes, a facilidade de expansão do sistema de controle, com espaço extra para instrumentos no painel existente, tomadas adicionais para novos sensores e a facilidade de reconfigurar os sistemas de intertravamento. O sistema de segurança de um processo contínuo deve minimizar e evitar os desligamentos, por causa dos grandes prejuízos da interrupção da produção, enquanto o desligamento de emergência no processo batelada é muito menos relevante.

Validação

Diferente de outras indústrias, a farmacêutica deve atender as exigências de normas emitidas pela U. S. Food and Drug Administration, nas partes 210 e 211 do Code of Federal Regulations. Estas normas estabelecem a pratica mínima para boa fabricação para métodos a serem usados pela indústria farmacêutica. Cumprindo as normas tem-se a garantia que os remédios satisfazem exigências de segurança, identidade, dosagem, qualidade e pureza.

A validação é uma metodologia que ajuda a provar que os remédios possuem as características necessárias de acordo com as especificações do fabricante e as exigências legais.

Validar é estabelecer uma evidência documentada que fornece um alto grau de garantia que um processo específico fará de modo consistente um produto satisfazendo sua especificação predeterminada e os atributos de qualidade. A validação simplesmente faz boa engenharia e bom senso de negócios e apresenta benefícios a curto e longo prazo. Qualquer sistema ou dispositivo pode ser validado usando os seguintes 10 preceitos:

1. Definir todas as funções do sistema
2. Definir o sistema total e cada módulo
3. Definir as funções de cada módulo
4. Qualificar cada módulo
5. Ligar todos os módulos juntos
6. Testar e desafiar os módulos ligados
7. Estabelecer reprodutitividade
8. Estabelecer e implementar controle de mudança
9. Documentar tudo
10. Não desrespeitar nenhum destes preceitos.

O planejamento das atividades de validação são similares a um projeto de engenharia. Validação e engenharia devem ser atividades paralelas. As exigências de validação devem ser incorporadas no projeto de engenharia. Revisão, aprovação e garantia que todas as atividades da validação estão no local e no tempo apropriados, dentro e além da execução do projeto. A documentação de validação do sistema deve incluir, mas não se limitar a,

1. Plano de garantia da qualidade
2. Especificação de necessidades
3. Especificação de projeto
4. Controle de mudança
5. Qualificação da instalação, operação, desempenho e manutenção

Apostila\Automação 33ControleBatelada.doc 16 FEV 99

15

Alarme e Intertravamento

Objetivos

1. *Estabelecer de modo uniforme a terminologia relacionada com alarme de processo, para melhorar as comunicações entre as pessoas que especificam, distribuem, fabricam e usam anunciadores de alarme.*
2. *Mostrar as diferentes prioridades do alarme de processo e os meios para realizar os alarmes.*
3. *Apresentar as correlações do alarme do processo e as cores utilizadas.*
4. *Estabelecer regras praticas para garantir a implementação segura, lógica e correta de alarmes e intertravamentos*
5. *Examinar e detalhar os tipos diferentes de falhas possíveis manipuladas pelos sistemas de intertravamento.*
6. *Apresentar os princípios para projetar o intertravamento e os vários tipos de dispositivos de intertravamento, alarme e lógica*
7. *Analisar o fator humano no projeto do intertravamento.*

1. Terminologia

Os seguintes termos e suas definições têm significado especial em relação a sistemas de alarme, intertravamento e anunciadores.

Ação de seqüência

Um sinal que faz a seqüência mudar de um estado de seqüência para outro. Ações de seqüência incluem mudanças da condição do processo e operação manual de botoeiras.

Alarme

1. Condição anormal de processo.
2. Estado da seqüência quando ocorre uma condição anormal de processo.
3. Um dispositivo que chama a atenção para a existência de uma condição anormal de processo.

Alarme falso

Quando o sistema indica um alarme inexistente, ou seja, a condição normal é alarmada como anormal. Também chamado de alarme *espúrio*.

O sistema de alarme também pode falhar, quando ocorre uma condição anormal e ela não é detectada e indicada (ver **perigo em falha**).

Alarme mantido

Um alarme que retorna ao normal após ser conhecido.

Alarme momentâneo

Alarme que retorna ao normal antes de ser conhecido.

Alarme precursor (*early warning*)

O alarme precursor alerta o operador para o fato de que há um perigo potencial tendendo a se desenvolver e dá ao operador tempo para ele tomar decisão para corrigir o problema antes que seja ativado o desligamento automático do processo. Alarme que ocorre (XL ou XH) antes de haver o desligamento da planta (XLL ou XHH), por causa da variável X.

Alarme Tipo 1

Um alarme que apenas dá informação do *status* do processo ou do equipamento, geralmente ligado ou desligado; normal ou anormal.

Alarme Tipo 2

Alarme que chama a atenção do operador da planta para uma leitura anormal de uma variável do processo. O sensor do alarme é compartilhado pela malha de controle ou monitoração.

Alarme Tipo 3

Alarme substitui indicação. Não importa o valor. Alarme sinaliza quando o sistema é desligado automaticamente. Também chamado de **alarme não crítico**.

Alarme Tipo 4

Alarme é reserva (*backup*) da medição principal. Sensor da medição diferente do sensor de alarme (redundância). Também chamado de **alarme menos crítico**.

Alarme Tipo 5

Alarme indica a variável alarmada, atua automaticamente no processo (ligando ou desligando e indica esta atuação. Também chamado de **alarme muito crítico**).

Alerta

Estado do sistema depois que um ponto de alarme é atuado.

Memória de alerta (Alerta Lock) é o estado do sistema, tendo memória e retorno do alerta, depois que um contato sensor da condição voltou para o normal, mas o botão de reset ainda não foi atuado.

Alto-Baixo (High-Low)

Um sistema que pode indicar normal, anormalmente baixo e anormalmente alto.

Anormal

Relativo a condição do processo durante a qual a variável monitorada está fora dos limites de operação especificados. É uma condição não normal ou fora do normal.

Anunciador

Um equipamento ou grupo de equipamento que chama a atenção para mudanças que ocorreram nas condições de processo. Um anunciador usualmente chama atenção para condições anormais do processo, mas pode também ser usado para mostrar as condições normais do processo. Usualmente constituído de: circuitos lógicos de seqüência, displays visuais etiquetados, dispositivos de áudio e botoeiras operadas manualmente.

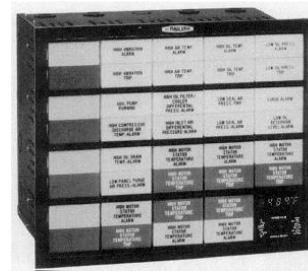



Fig. 15.1. Anunciador de alarme

Botoeira (*Push button*)

Uma chave manual momentânea que causa uma mudança de um estado de seqüência para outro. As ações da botoeira no anunciador incluem: *silêncio, conhecimento, rearme (reset), rearme first-out e teste (funcional e de lâmpadas*).

Chave

Dispositivo, geralmente elétrico, que muda o contato de saída quando acionada manualmente ou automaticamente.

Chave de intertravamento

Chave projetada para ser montada em porta, tampa ou outro dispositivo móvel, para se mudar de status automaticamente quando a porta, tampa ou peça móvel for aberta ou movida. Também chamada de chave limite ou de posição.

Chave automática

Chave que muda os contatos elétricos de saída quando a variável detecta atinge algum valor predeterminado. As chaves mais comuns são o pressostato (pressão), termostato (temperatura), de nível, vazão ou posição. .

Fig. 15.2. Chave limite ou de intertravamento

Condição do processo

Estado da variável monitorada. A condição do processo pode ser ou normal ou anormal.

Conhecimento

Conhecimento (Acknowledgment) é a ação da seqüência que indica que o operador tomou conhecimento da existência de um novo alarme.

É o conhecimento de uma mudança na operação feito pelo operador, através de uma botoeira. Quando o operador aperta este botão, demonstra que está consciente de que há uma condição anormal na planta. Geralmente, o botão de conhecimento desliga a parte sonora do alarme. Depois que o operador conhece a existência do alarme e aperta o botão correspondente, o alarme se torna *conhecido*.

Contato de campo

O contato de campo é também chamado de contato de sinal, contato de falha ou contato de problema. É o contato elétrico do equipamento que sente a condição de um evento ou o valor da variável analógica do processo. Os contatos de campo do anunciador são identificados em relação às condições de processo e a operação do anunciador, não à posição desligada dos equipamentos.

Desligamento (trip, shutdown, shut-off)

Arranjo automático para desligar automaticamente um equipamento, quando ocorrer algum evento que comprometa a segurança do pessoal e equipamento associado a ele. Sistema eletrônico, elétrico ou pneumático projetado para desligar ou fechar um equipamento do sistema, em situação de rotina (programado) ou de emergência (aparecimento de condição insegura).

Diagrama de seqüência

Uma representação gráfica que descreve ações e estados de seqüência.

Display visual

Parte do anunciador ou painel de lâmpadas que indica o estado da seqüência. Usualmente consiste de um painel contendo lâmpadas atrás de janelas translúcidas. As lâmpadas podem estar desligadas, piscando (*flashing*) ou ligadas (com tensão total ou parcial).

Equipamento sonoro ou audível

Um equipamento que chama atenção pelo som para a ocorrência de condições anormais do processo. Um equipamento audível também pode chamar atenção para o retorno às condições normais. Exemplos: buzina, sirene, alto falante, sino e campainha.

Estação

A unidade do sistema anunciador necessária para causar a operação do sistema provocada pela mudança do contato sensor da condição. Uma sistema de anunciador pode ter estações ativas, reservas ou futuras.

Estado de seqüência

A condição do display visual e dispositivo audível fornecida por um anunciador para indicar a condição do processo ou ações de botoeira ou ambas. Estados de seqüência incluem normal, alarme (alerta), silenciado, conhecido e ringback.

Etiqueta (nameplate)

Uma plaqueta translúcida iluminada na parte de trás e marcada com a identificação do ponto de alarme.

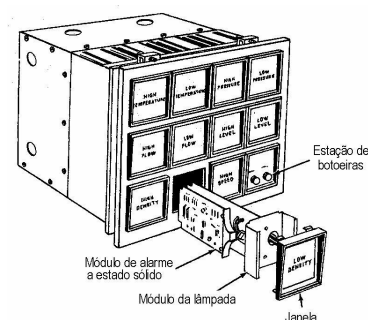



Fig.13.3. Janela com etiqueta (nameplate)

Falha

Falha é uma condição causada pelo colapso, quebra, queima, amassamento, entortamento ou desgaste de uma

estrutura que não mais desempenha sua função pretendida.

As falhas ocorrem de diferentes modos:

1. Infantis, quando ocorre no início da vida útil do instrumento.
2. Casuais, quando ocorrem sem causa constante, aleatoriamente.
3. Desgaste, quando ocorre devido ao funcionamento do instrumento.
4. Marginais, aquela que não afeta materialmente o funcionamento.
5. Catastróficas, quando o seu resultado são danos a equipamentos e ferimentos e mortes a operadores.

Falha, Operar em

Sistema que não tem uma estado seguro em operação e que deve continuar operando para se manter seguro, em caso de falha. Por exemplo, quando há uma falha em um avião em vôo, continuar voando é temporariamente a situação mais segura.

Falha, Perigo em (Fail-dangerous)

Sistema que vai para uma condição perigosa, em caso de falha. O sistema não é desligado mesmo havendo uma condição insegura (o sistema de alarme deixou de alarmar ou desligar o sistema em caso de falha).

Falha, Seguro em (Fail-safe)

Sistema que possui um estado definido de segurança e, em caso de falha, vai natural e automaticamente para este estado. Por exemplo, quando há uma falha em um trem, o maquinista puxa o freio e o trem pára (estado parado é sua condição segura).

Erro de seguro em falha é quando o sistema é desligado embora não exista falha.

Falha, Tolerante à

Um sistema é chamado de tolerante à falha quando tem a capacidade de operar de acordo com as especificações de projeto, mesmo quando ocorrem determinados tipos de falhas em sua estrutura interna ou no ambiente externo.

Flasher

Uma subunidade do sistema de anunciador usada para causar um indicador visual anormal ligar ou desligar durante porções particulares da seqüência do sistema.

Filtragem de alarme

Filtrar alarmes é reduzir a quantidade de alarmes, atribuindo-lhe prioridades e eliminando os menos importantes ou descartáveis por alguma lógica.

Alarme ação requerida

O alarme A é uma ação requerida de B, quando as condições que causam B requerem a ocorrência de A.

Alarme Bloqueio

O alarme A bloqueia B quando a condição que causa A torna B sem significado

Alarme precursor direto

O alarme A é um precursor direto de B quando A é uma possível causa de B.

Alarme precursor de valor

O alarme A é um precursor de valor de B quando o alarme A é esperado acontecer antes do alarme B **e** o alarme A é menos importante que B.

First-out (First alert)

Uma característica da seqüência que indica qual o ponto de um grupo de pontos de alarme que operou primeiro.

Intertravamento (interlock)

É um mecanismo implementado em equipamento (hardware) ou programa (software), para coordenar as atividades de dois ou mais processos dentro de um sistema e para garantir que um processo tenha atingido um nível adequado para que outro processo possa operar.

Intertravamento pode ser também uma chave ou outro dispositivo que impeça a ativação de uma parte do equipamento quando algum dispositivo de proteção for acionado ou existir um perigo.

Janela (nameplate)

Um componente de um display visual feito de um material translúcido que é iluminado por lâmpadas colocadas no seu interior e com gravações ou etiquetas para identificar a variável monitorada.

Limpar (Clear)

Permitir que uma nova série de seqüência seja monitorada, mesmo que os pontos na série original ainda estejam em condição de operação anormal.

Local Perigoso

Local onde existem ou estão presentes misturas de gases, vapores, pós ou fibras flamáveis com ar e que podem entrar em combustão ou explosão, quando encontrar uma fonte de energia termal ou elétrica, apresentada por algum equipamento ou pelo homem.

Memória (*Lock in*)

Um componente elétrico do sistema do anunciador que mantém o sinal anormal até o conhecimento, mesmo que os contatos detectores da condição retornem ao seu estado normal, durante o intervalo de tempo envolvido.

Uma característica da seqüência que retém o estado do alarme até ser conhecido quando a condição anormal do processo é momentânea.

Módulo de alarme

Uma placa de circuito impresso com conexão ao sistema tipo plug in, contendo o circuito lógico de seqüência. Alguns módulos de alarme podem também conter lâmpadas de display visual ou lâmpadas e janelas.

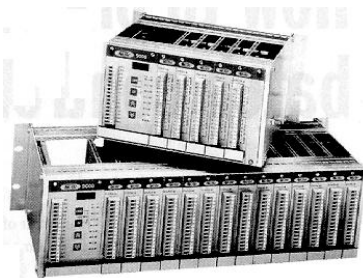



Fig.13.4. Módulos de alarme

Normal

Relativa a uma condição de operação durante a qual o processo está dentro dos limites especificados.

Normalmente aberto

Na operação normal do anunciador, os contatos dos sensores de campo que estão na posição aberta em condição normal do processo.

No relé, é o contato que está na posição aberta, quando o relé está na prateleira.

Normalmente fechado

Na operação normal do anunciador, os contatos dos sensores de campo que estão na posição fechada em condição normal do processo.

No relé, é o contato que está na posição fechada, quando o relé está na prateleira.

Olho de boi

Uma lente montada na frente de uma fonte luminosa.

Piscamento (Flasher)

Um dispositivo que causa um display visual ligar e desligar repetidamente ou piscar. Tipos de piscamento incluem piscamento rápido, piscamento lento, piscamento intermitente,

Plug in

Tipo de conexão em que o cartão ou placa do circuito elétrico é encaixado diretamente na base, geralmente sem auxilio de qualquer ferramenta.

Ponto de alarme

O circuito lógico da seqüência, display visual, equipamentos auxiliares e fiação interna relacionada com um display visual. Os tipos de ponto de alarme incluem:

Ponto ativo

Um ponto de alarme que é fiado internamente e completamente equipado. A janela tem etiqueta para identificar uma variável monitorada específica.

Ponto reserva

Um ponto de alarme que é fiado internamente e completamente equipado. A janela não tem etiqueta para identificar uma variável monitorada específica.

Ponto futuro (em branco)

Um ponto de alarme que é fiado internamente e equipado exceto para o módulo de alarme plugueado. A janela não tem etiqueta para identificar uma variável monitorada específica.

Ponto de entrada analógico

Um ponto de alarme para uso com um sinal de variável monitorada analógica, usualmente corrente ou tensão. O circuito lógico inicializa um alarme quando o sinal analógico está acima ou abaixo do ponto de ajuste (set point).

Pulso

Uma energia elétrica com curta duração. O pulso espúrio (indesejável e aleatório) é o principal responsável por alarme falso.

Rearme (reset)

A ação de seqüência que retorna a seqüência para o estado normal. Tipos de rearme incluem:

Rearme automático

Rearme ocorre após o conhecimento quando a condição do processo retorna ao normal.

Rearme manual

Rearme ocorre após o conhecimento quando a condição do processo retorna ao normal e a botoeira de rearme é apertada.

Rearme first out

Rearme da indicação de first out ocorre quando o botão de rearme do conhecimento ou do first out é operado, com a condição do processo retornando ao normal ou não, dependendo da seqüência.

Relé de intertravamento

É o relé composto de duas ou mais bobinas, cada qual com sua própria armadura e contatos associados, arranjadas de tal modo que o movimento de uma armadura ou a energização de sua bobina seja dependente da posição da outra armadura.

Reset

Processo de retornar o sistema do anunciador ao seu estado normal após o conhecimento de uma condição anormal e após a condição do processo voltar ao normal. Em português, é **rearme**.

Ringback (alerta de retorno)

Uma característica da seqüência que fornece uma indicação visual ou audível ou ambas, diferentes da condição anormal, quando a condição do processo retorna ao normal. O operador deve tomar conhecimento desta condição, desligando a janela acesa.

Saída auxiliar (Contato auxiliar)

Um sinal de saída operado por um único ponto de alarme ou grupo de pontos para uso com um equipamento remoto. Tipos de saídas auxiliares incluem:

Seguidor de contato de campo

Uma saída auxiliar que opera enquanto o contato de campo indica uma condição anormal de processo.

Seguidor de lâmpada

Uma saída auxiliar que opera enquanto as lâmpadas de display visual indicam um alarme, estado silenciado ou conhecido.

Seguidor de equipamento audível

Uma saída auxiliar que opera enquanto o equipamento audível de alarme comum opera.

Reflash

Um circuito lógico auxiliar que permite duas ou mais condições anormais inicializar ou reinicializar o estado de alarme de um ponto de alarme em qualquer momento. O ponto de alarme não pode retornar ao normal até que todas as condições do processo associadas retornam ao normal.

Segurança Intrínseca

Operação segura obtida por um sistema projetado e construído, que garante um baixo nível de energia em todo tempo, de modo que nenhum dispositivo é capaz de causar ignição ou explosão de qualquer mistura perigosa presente.

Selado (hermeticamente)

Condição permanente de um invólucro em que nenhum gás ou líquido pode escapar dele ou entrar nele.

Sensor de campo

Dispositivo que detecta o valor da variável analógica ou o status de um evento e envia o sinal de saída para inicializar uma seqüência de alerta do anunciador.

Seqüência

Vários estados de operação do sistema do anunciador.

Uma série cronológica de ações e estados de um anunciador depois da ocorrência de uma condição anormal de processo ou de um início de teste manual.

Tabela de seqüência

Uma representação que descreve ações e estados de seqüência por linhas de comandos arranjados em colunas.

Silêncio

Ação de seqüência que desliga o som de um dispositivo audível.

Sinal de alarme

É o sinal transmitido para atuar um dispositivo automático que soa um alarme indicando a ocorrência de um evento. O evento pode ser uma condição normal ou anormal.

Sistema de alarme

É o que opera um dispositivo de aviso ou advertência após a ocorrência de uma condição determinada, indesejável ou perigosa.

Tempo de resposta

O período de tempo entre o momento que ocorre uma condição anormal do processo e a inicialização do estado de alarme. A duração mínima de um alarme momentâneo necessária para a operação do anunciador.

Teste

Uma verificação da operação do sistema, que pode ser manualmente simulada.

Uma seqüência do anunciador inicializada pelo acionamento do botão de teste para revelar falha da lâmpada ou circuito.

Teste operacional (funcional)

Teste de seqüência, lâmpadas de display visual, dispositivos audíveis e botoeiras.

Teste de lâmpadas

Apenas verifica o status das lâmpadas do display visual.

2. Segurança da Planta

2.1. Projeto da planta

Toda planta deve ser projetada usando-se princípios de segurança baseados em praticas de engenharia estabelecidas. Procedimentos como Perigo e Operabilidade - Hazard and Operability (HAZOP), Análise de Perigo - Hazard Analysis (HAZAN) e Análise de Arvore de Falha – Fault Tree Analysis (FTA) podem revelar problemas potenciais de segurança e operação relacionados com o projeto.

Depois de projetada, instalada e dada a partida (start up) a planta entra em operação de regime. Há vários sistemas automáticos associados à planta, para garantir sua operação correta e eficiente e a segurança dos equipamentos envolvidos e dos operadores presentes. Pode-se perceber quatro níveis distintos de atividade da planta:

1. medição e controle regulatório do processo
2. alarme do processo
3. desligamento de emergência
4. monitoração e controle do fogo

2.2. Medição e Controle do processo

Os sistemas de medição e controle regulam os processamentos e fluxos de materiais e de energia. O desempenho dinâmico correto destes sistemas torna as falhas internas raras. Quando acontece uma falha, sua ocorrência é facilmente evidenciada para o operador, através das indicadores e registradores.

Quando o controle automático é insuficiente de fornecer o resultado desejado, (por falha da estação automática, má sintonia, carga diferente do processo), o operador transfere a operação de automática para manual. Isto não causa nenhum problema particular ao processo, que contínua operando com produtos dentro das especificações. Geralmente, o sistema de controle possui um sistema suplementar de alarme, que chama a atenção do operador para a perda do controle automático ou para a tendência do produto sair fora das especificações.

Porém, em condições mais graves, em que nem o controle manual consegue regular corretamente o sistema, e o

produto final está fora das especificações, entra o sistema de alarme.

2.3. Alarme do processo

O ideal é que a planta trabalhe em automático todo o tempo. Os distúrbios normais do processo são eliminados pelo controle automático. Quando houver uma anormalidade além da faixa de controle automático, o processo deve ser passado para a condição de manual. Para isso, deve haver sistema de alarme para chamar a atenção do operador, pois ele não está todo o tempo olhando os controladores e atualmente há tantas informações concentradas em tão pouco espaço que é impossível o operador perceber prontamente quando o controle automático é perdido.

Na maioria dos casos, a atuação manual do operador no processo é suficiente para trazer o processo para as condições ideais. Porém, em uma minoria dos casos, a atuação manual não consegue retornar a variável de processo para o ponto de ajuste e o processo tende para condições de perda de produto ou inseguras.

2.4. Desligamento de emergência

Quando os operadores podem entrar em pânico ou serem incapazes de tomar a decisão certa no momento certo, com o excesso de informações disponíveis, o sistema procura eliminar o julgamento humano das funções críticas de segurança. O sistema atua automaticamente no processo, desligando-o ordenadamente.

A proteção da planta independente da ação humana é implementada pelo sistema de desligamento, com suas entradas e saídas dedicadas e completamente separadas do sistema de controle do processo. Este sistema monitora as operações em uma condição estática, até ser ativado ou disparado por uma condição anormal prevista. O sistema requer um alto nível de diagnose, geralmente não existente nos equipamentos de controle do processo, para detectar falhas internas que podem não ser facilmente evidentes.

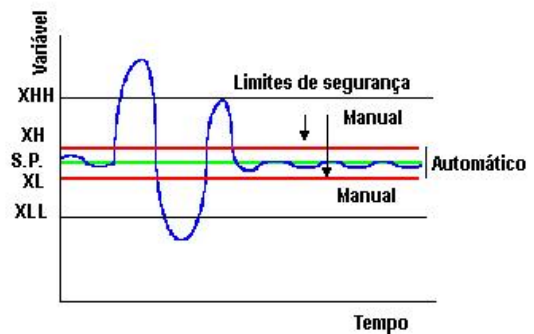



Fig. 15.6. S.P. é o ponto de ajuste, XL e XH são pontos de alarme e XLL e XHH são pontos de desligamento

2.4. Monitoração do fogo e gás

Mesmo com o sistema de regulação, alarme e desligamento, ainda é possível haver fogo ou explosão no processo. Pode haver falhas no sistema de alarme e desligamento, que deixa de atuar em condição de perigo ou pode haver fogo provocados por outras fontes diferentes.

Os perigos devidos a gases combustíveis e tóxicos são manipulados por outro sistema. Este sistema além de detectar a presença de gases no local também pode ter condição de desligar equipamento do processo, ou seja, o sistema de detecção de gases pode inicializar o sistema de desligamento. Em plantas grandes e complexas, hoje a tendência é de integrar o projeto e suprimento do gás e fogo com o sistema de desligamento, ambos agrupados em um mesmo sistema de segurança.

3. Tecnologias do Sistema

3.1. Tecnologias disponíveis

Há três tecnologias principais para implementar sistema de segurança e desligamento na planta de processo:

1. relé eletromecânico
2. eletrônica a semicondutor fiada fisicamente (hard wired)
3. microprocessador.

Relé eletromecânico

Embora existam alguns poucos sistemas pneumáticos em uso, eles podem ser classificados com de relés, pois seus princípios operacionais são semelhantes.

O sistema de segurança baseado em relé eletromecânico tem sido muito usado, ainda, por causa de sua confiabilidade. Eles são inerentemente seguro em falha, imune a maioria das interferências elétricas, podem ser projetados para atender a maioria das exigências de tensão e possuem baixo custo inicial de aquisição.

Como desvantagens, tem-se:

1. grande peso e tamanho
2. pouco flexível para fazer alterações na programação ou adições, que requerem mudança na fiação física e revisão na documentação.
3. não oferecem capacidade de comunicação digital (serial ou paralela) para uso integrado com SDCD ou CLP, ou SCADA.

Sistema Eletrônico a semi condutor

Sistema a estado sólido fiado fisicamente pode ser projetado para superar muitas das desvantagens associadas com relés, como:

1. apresentam teste on line de todos os canais ativos, incluindo módulos I/O, por meio automático ou manual
2. falhas são facilmente identificadas
3. substituição e adição são prontamente feitas
4. possibilidade de sistema redundante para melhorar desempenho e aumentar a tolerância a falha.

O sistema com circuito eletrônico faz sua lógica através de circuitos a estado sólido que estão fiados fisicamente na configuração desejada. Qualquer modificação lógica necessita de alteração na fiação, mas painéis com matriz de pinos pode simplificar as alterações.

Microprocessador

Sistemas com microprocessador são poderosos e flexíveis, através de hardware, software e firmware. Os sistemas com microprocessadores podem ser subdivididos em computadores pessoais (CP) e controladores lógico programáveis (CLP). O sistema com CP é considerado integral e o CLP é um sistema distribuído.

3.2. Escolha do Sistema

Parâmetros de escolha

Quando se projeta um sistema de segurança de alto risco, sempre se consideram os seguintes parâmetros:

1. filosofia do alarme:
   a) individual em cada instrumento,
   b) agrupada em anunciador,
   c) feita por computador dedicado
   d) feita no sistema de controle digital (SDCD, CLP com supervisório, SCADA)
1. tecnologia usada:
   a) relés eletromecânicos,
   b) lógica eletrônica
   c) microprocessador?
2. nível de redundância:
   a) simples,
   b) dual
   c) tripla?
3. administração de alarmes falsos:
   a) lógica supervisória
   b) sistema de votação
4. períodos de teste:
   a) mensalmente,
   b) anualmente
   c) somente quando há desligamento?
2. custo de propriedade
   a) custo de aquisição
   b) custo de engenharia
   c) custo de operação
   d) custo de modificações futuras
3. exigências do local
   a) área interna ou externa
   b) área classificada ou segura

Roteiro de seleção

Os passos necessários para selecionar o melhor sistema incluem:

1. Obter as estimativas de custo das soluções técnicas disponíveis incluindo

custos futuros de operação durante a vida útil do sistema

2. Analisar a possibilidade de falha do equipamento e da planta devido a falha do sistema, considerando os cenários de falha em segurança ou perigo em falha.
3. Estimar o custo da planta parada como resultado da falha do sistema de segurança.
4. Baseado neste procedimento e na análise da arvore de decisão, selecionar o melhor entre todos os candidatos.

Uma solução não pode ser ótima para todas as situações.

Ponto fraco do sistema

Muitas pessoas pensam em triplicar sistemas lógicos, pensando que *se um é bom, dois é melhor e três o máximo*. Mas, muitas instalações com sistemas lógicos dual ou triplo tem dispositivos de campo (sensores e válvulas) simplex, não redundantes.

A legislação exige que empregadores *determinem e documentem* que o equipamento do sistema de segurança seja *conveniente* para determinada aplicação e que a operação segura seja *garantida*. Normas para dispositivos elétricos, eletrônicos e de controle programável (ISA SP84 e IEC 65) estabelecem níveis de risco e fornecem números de desempenho requeridos para sistemas de segurança.

Estudos mostram que o gargalo do sistema ou o elo mais fraco da cadeia ou ainda, a menor confiabilidade do sistema está nos sensores e nos elementos finais de atuação (válvulas, solenóides, motores). Por isso, às vezes, é mais importante focalizar os dispositivos de campo do que os componentes do sistema de segurança.

Software

A confiabilidade dos sistemas envolvendo CP e CLP depende também da confiabilidade do programa associado. E ainda não há meios de avaliar a confiabilidade de programa de computador.

Há dois tipos de software:

1. software embutido que consiste do sistema operacional e de funções de sistema como programação de tarefas, comunicação entre tarefas e manipulação de interrupções
2. software de aplicação que executa as funções lógicas específicas de acordo com as exigências do usuário.

Diferente do hardware, a principal fonte de falha em software é erro de projeto. Assim que um defeito de software é corrigido, ele permanece corrigido. A falha ocorre somente quando o software embutido é usado em um ambiente diferente daquele para o qual ele é projetado. Depois que um software é testado e carregado no hardware, o software tem uma altíssima confiabilidade. O software aplicativo, porém, depende muito da experiência do projetista, documentação de auditoria, desenvolvimento do sistema e procedimentos de teste.

Sistema	Confiabilidade	Custo	Flexibilidade
Relé	Muito alta	Barato, com lógica simples Custo operacional muito baixo	Não flexível
Eletrônica a estado sólido	Moderada	Caro para lógica simples Custo operacional alto	Tem alguma flexibilidade
Único CLP	Moderado	Caro para lógica simples Custo operacional maior que relé	Flexível
Dual CLP Redundância I/O	Alta	Caro para lógica simples Aceitável para lógica complexa Custo operacional alto	Muito flexível
CLP com stand by	Alta	Caro para lógica simples Aceitável para lógica complexa	Muito flexível
CLP Tolerante a falha	Muito alta Diminui falha para perigo e reduz alarme falso	Muito caro Aceitável para lógica muito complexa e para exigência de alta segurança	Muito flexível

4. Alarme do Processo

4.1. Introdução

Uma das aplicações mais comuns no controle de processo é a implementação de circuitos simples de alarme. O sistema de alarme é binário, pois o interesse é apenas se a variável está abaixo ou acima de determinado valor preestabelecido. Em processo de manufatura industrial, há muitas aplicações com variáveis acima e abaixo da variável controlada, que devem ser monitoradas.

Um sistema pode operar sem malha de controle de pressão, mas se a pressão exceder determinado limite predeterminado, pode-se gerar um alarme e prover uma atuação corretiva, para manter o sistema seguro ou dentro de limites de controle. As ações mais fáceis de implementar são as de ligar e desligar. Neste sentido, o alarme é similar ao controle liga-desliga ou de duas posições.

Os sistemas de alarme vivem no mundo digital. Eles sofrem do engano, pelos projetistas, que como eles são relativamente simples e não requerem qualquer teoria de controle, então eles não precisam de nenhuma base para serem especificados ou projetados. De fato, há muitos aspectos de sistemas de alarme que devem ser considerados, se eles devem fazer o trabalho que o projetista e usuário querem que eles façam.

Os sistemas de alarme desempenham uma importante função no processo e por isso não devem ser especificados indiscriminadamente. Muitos alarmes em um painel ou console de instrumentos inevitavelmente leva-os a serem ignorados. Uma fraqueza dos sistemas digitais atuais é que a grande facilidade para gerar alarmes.

4.2. Componentes

Os sistemas de alarme de processo geralmente consistem de três componentes:

1. uma chave automática de variável de processo, que detecta o valor da variável, compara este valor com um ajuste e muda a sua saída quando o valor ultrapassa o ponto de ajuste. O sinal digital da saída da chave está associado a Liga-Desliga, Seguro-Inseguro, Pronto-Não pronto.
2. Um circuito lógico que recebe o sinal de saída de uma ou mais chaves de alarmes e então decide, baseado em uma lógica preestabelecida, qual a saída que deve ser enviada ao anunciador e qual o elemento final que deve ser automaticamente ligado ou desligado.
3. Um anunciador de alarme, possivelmente com um dispositivo final que irá produzir a ação apropriada em resposta às saídas da lógica. O anunciador de alarme geralmente tem lâmpadas atrás de placas gravadas, mensagens em uma tela de vídeo (terminal de display de vídeo ou TRC – tubo de raios catódicos). Usam-se alarmes de áudio associados, como sirene, buzina e campainha.

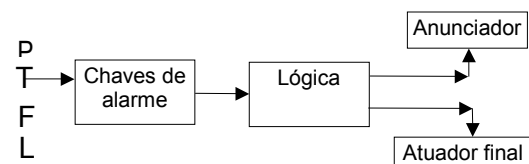



Fig. 15.7. Diagrama de blocos do sistema de alarme

Um dispositivo final causa um desligamento automático do equipamento sob operação. Tipos comuns de dispositivo final incluem:

1. Relé elétrico agindo como um segundo botão de Liga-Desliga no circuito de controle da partida de um motor.
2. Válvula de emergência operada por solenóide
3. Válvula piloto operada por solenóide, que pode ligar ou desligar um atuador pneumático com mola e diafragma em uma válvula de emergência. A válvula piloto geralmente é de três vias e pequena; a válvula de emergia pode ter qualquer tamanho.
4. Válvula motorizada, *damper* ou porta. Estes dispositivos não são tão práticos como o relé e a válvula

solenóide pois eles não tem posição segura em caso de falha. É necessária potência para acioná-los para seu estado seguro.

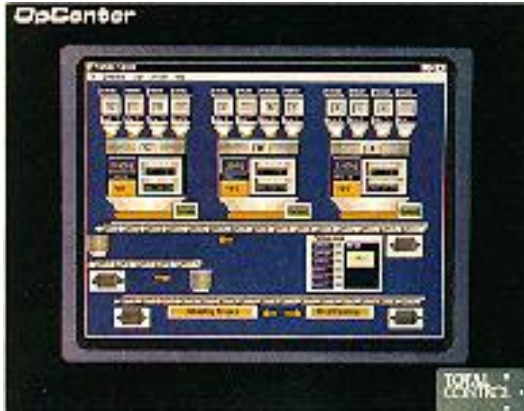



Fig. 15.8. Tela de controle supervisório com alarmes

4.3. Prioridade de alarmes

Há cinco tipos de importância de alarmes incluídos em um sistema de monitoração e alarme da planta:

1. muito crítico
2. pouco crítico
3. não crítico
4. informação de status
5. análise de desligamento

Alarme mais crítico

Alarme que requer ação imediata do operador para manter a unidade operando, devido a condições que resultam em uma perda completa de carga, para a proteção de grandes equipamentos ou para segurança de pessoal

Alarme menos crítico

Alarme que requer ação imediata do operador para manter a carga da unidade, devido a condições resultando em perda parcial da carga ou para proteger equipamento.

Alarme não crítico

Alarme que requer ação corretiva mas não diretamente pelo operador.

Informação de Status

Display que inicia o status de eventos e que não requer ação corretiva.

Informação de Análise de Desligamento

Condição diretamente relacionada com o desligamento ou que pode levar ao desligamento da unidade. Esta categoria também inclui informação de desligamento prévio especial ou pós desligamento para determinar a condição real da unidade mais facilmente antes de uma novo ligamento.

É recomendável que as diferentes categorias sejam mostradas em diferentes equipamentos. Os alarmes mais críticos (vermelhos) e menos críticos (brancos) sejam mostrados em anunciadores visuais. A informação não crítica possivelmente mostrada em TRC. Status de informação seria disponível em impressora ou em outro TRC. Análise de desligamento seria também impresso.

As observações adicionais de um sistema de alarme otimizado incluem:

1. Visual com lâmpadas piscando associado com sonoro para mostrar os alarmes de urgência ou críticos.
2. Os operadores requerem muito mais dados sobre eventos que indicam o status da planta do que os que podem ser mostrados no display com alarmes críticos.
3. Os alarmes e dados de eventos podem ser permanentemente coletados com o tempo exato e a seqüência para uma análise de evento de operações e revisão de segurança.

4.4. Realização do Alarme

O projeto e realização do alarme dependem principalmente de sua importância ou criticidade e por isso são disponíveis várias configurações, com diferentes graus de complexidade.

Os sistemas de alarme de processo podem ser de cinco tipos diferentes.

Alarme tipo 1

Estes não são alarmes no sentido estrito da palavra. O alarme do tipo 1 é realmente um indicador de *status* do processo ou do equipamento. As combinações de status podem ser: Ligado ou Desligado, Aberto ou Fechado, Normal ou Anormal, Operando ou Parado, Pronto ou Não-pronto ou qualquer outra variedade binária.

Se este tipo de alarme é especificado, deve-se atribuir uma indicação positiva para cada estado. Uma lâmpada deve ser atribuída ao estado Ligado e outra para o estado Desligado. É perigoso atribuir uma única lâmpada para indicar ambos os estados, por exemplo, ligada para o estado Ligado e apagada para o estado Desligado. A lâmpada apagada poderia estar indicando a condição de processo desligada (informação correta) ou poderia estar queimada (informação errada).

Fig. 13.9. Controlador lógico programável com alarmes de indicação de status

Alarme tipo 2

Um alarme tipo 2 é que chama a atenção do operador da planta para uma leitura anormal de um medidor acessível ao operador. O sensor (e transmissor) do alarme tipo 2 é o mesmo sensor da malha de controle. O alarme é inicializado por uma chave de alarme atuada pelo sinal, provavelmente localizada na sala de controle. A chave de alarme é colocada no sinal de medição que vai para o instrumento do painel.

A Fig. 15.10 mostra um alarme do tipo 2: um transmissor de nível (LT) mede o nível do tanque e envia um sinal de medição para um indicador, registrador ou controlador de nível. Este sinal de medição do nível é tomado e enviado para uma chave de alarme (LSL) que ativa um anunciador (LAL) se um ponto de nível baixo é atingido.

Quando se usam lâmpadas para sinalização do anunciador, o código de cor lógico usado pode ser:

amarelo = muito baixo

vermelho = muito alto

Evita-se o uso da cor verde, que é geralmente associada com uma situação segura ou normal. O código lógico de cores pode variar entre a Instrumentação e a Elétrica ou mesmo dentro da Instrumentação. Por exemplo, uma lâmpada vermelha ligada usualmente significa um equipamento elétrico ligado e com problema, por exemplo, com alta temperatura e nunca em operação normal.

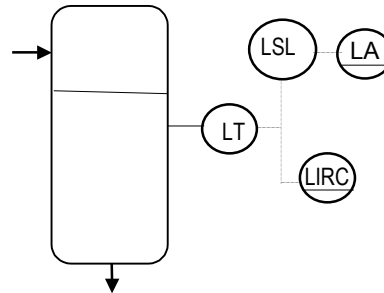



Fig. 15.10. Sistema de alarme tipo 2

A grande limitação do alarme do tipo 1, muito usado em sistemas de controle digital distribuído, é que ele não fornece backup para uma falha da medição a qual ele está associado. Mesmo assim, ele é muito usado porque é fácil de ser implementado.

Alarme tipo 3

O alarme tipo 3 é utilizado em vez de um indicador da variável do processo. A justificativa é que não se precisa conhecer o valor real da variável, desde que ela permaneça entro dos limites seguros. Se a variável de processo cruza os limites de segurança, inferior ou superior, um sinal de alarme é enviado. Muitos alarmes de painel de automóvel são deste tipo. Quando a pressão de óleo do motor cai abaixo de um valor limite, acende-se uma lâmpada vermelha do painel.

Um alarme do tipo 3 é o mais simples. Ele requer uma chave de alarme operada diretamente pela condição do processo e localizada no ponto de medição. A saída liga-desliga da chave de alarme ativa o anunciador diretamente, Nenhuma outra lógica é usada (**Fig**. 13.11).

Também se inclui nesta categoria o alarme que sinaliza quando um sistema é desligado automaticamente. A chave de alarme de desligamento (SS) e o alarme de desligamento (SA) são exemplos de alarme do tipo 3. O alarme não inicializa o desligamento; ele apenas sinaliza que o

desligamento ocorreu. A chave de alarme é ligada na linha de alimentação elétrica ou pneumática do equipamento de desligamento automático e não na linha de sinal da medição.

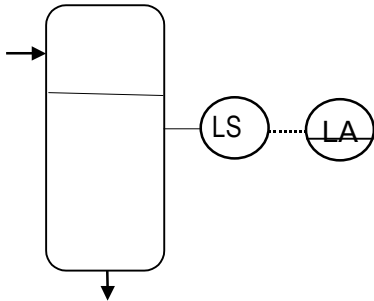



Fig. 15.11. Alarme do tipo 3

Alarme tipo 4

Estes alarmes servem como um backup no caso de uma falha de um instrumento que mede a mesma variável de processo (Fig.13.12). O transmissor de nível (LT) fornece o sinal de medição para um controlador, indicador ou registrador. Um outro sensor de nível atua em uma chave de nível (LSL) que envia a sua saída digital para um alarme de nível (LAL) do anunciador. O sistema de medição é independente do sistema de alarme. Especificamente isto significa:

1. A chave de alarme (LSL) deve ter seu próprio sensor e não pode ser uma chave de alarme acionada pelo sinal como do tipo 2
2. A chave de alarme deve ser operada diretamente pela condição do processo
3. Como uma possível razão da falha de um instrumento é a sua conexão, a chave de alarme deve ser sua própria conexão no processo.

Alarme Tipo 5

O projeto de um sistema de alarme que automaticamente faz as coisas acontecerem é mostrado na Fig. 15.13. A chave de alarme de baixa pressão (PSL) detecta a condição de baixa pressão e envia o sinal para a lógica. A saída da lógica estabelece um alarme de baixa pressão (PAL). Uma segunda saída lógica é um sinal para o dispositivo final ser ativado, neste caso, uma válvula de desligamento que fecha. Um segundo alarme (SS e SA) avisa ao operador que o sinal de desligamento foi enviado para o equipamento final.

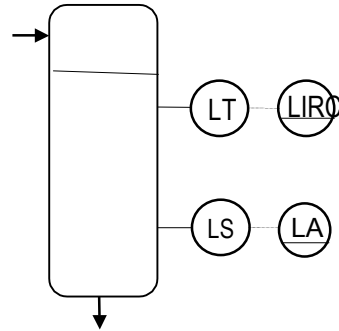



Fig. 15.12. Sistema de alarme tipo 4

Um sistema de alarme do tipo 5 envolve vários fatores cujas importâncias devem ser entendidas. Em muitos casos, ação automática significa desligamento automático. Se uma máquina perdeu sua pressão de óleo lubrificante ou um reator está operando muito quente, é necessário um desligamento automático. Porém, há casos em que a ação apropriada deve estar na partida automática. Por exemplo, a partida de um gerador de emergência no caso de perda da energia elétrica principal ou partida de uma bomba reserva se a bomba principal falhar. Mesmo assim, desde que o tipo de sistema de alarme descrito como tipo 5 é referido como desligamento automático, o nome também é usado quando se tem ligamento automático.

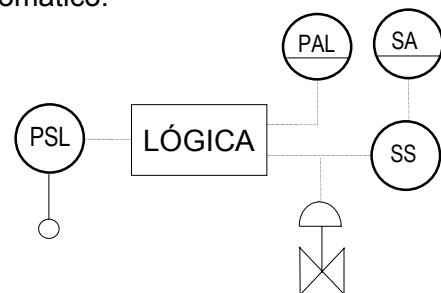



Fig. 15.13. Sistema de alarme e desligamento tipo 5

5. Intertravamento do Processo

5.1. Conceito

Hoje os processos químicos são mais complexos, maiores e operados mais próximos dos limites de segurança. Como resultado, há uma maior probabilidade de estas plantas se tornarem inseguras, tendo assim um maior potencial de causar grandes estragos, prejudicando ou matando pessoas e resultando em paradas custosas.

Quando algo de errado acontece com o processo, o sistema deve se desligar rapidamente para proteger o pessoal, a planta e o processo e o operador deve ter informação suficiente para tomar uma decisão inteligente acerca do que fazer imediatamente.

É extremamente importante projetar o sistema de segurança com os alarmes associados para proteger pessoal e equipamentos da planta de processo. Este sistema deve funcionar de modo que as condições de permissão existam antes da partida e a operação global permaneça segura, quando aparecerem condições anormais e perigosas. Além disso, o sistema de alarme e de segurança deve servir para minimizar os erros de operação do pessoal em situações de emergência.

Um sistema de intertravamento consiste de entradas (chaves liga-desliga, botoeiras, chaves limite, chaves do processo e outros contatos externos) e saídas (motores, bobinas de solenóides) que estão relacionadas e interligadas para desempenhar uma função definida, tal como ligamento ou desligamento de um equipamento, através de uma seqüência lógica de eventos, como os determinados por certos dispositivos (tais como arranjos de contatos de relés em série, paralelo ou combinação de ambos) ou programa de microcomputador.

O objetivo do sistema de intertravamento é o de automática ou manualmente causar um conjunto previsível de operações, quando os limites do processo forem excedidos, os equipamentos mecânicos e elétricos falharem, a energia faltar ou os componentes falharem, individualmente ou em combinação.

O sistema deve operar de modo a garantir a segurança da planta. O sistema de intertravamento e segurança não irá evitar os desvios perigosos do processo ou os acidentes catastróficos, mas irá reduzir os riscos de tais ocorrências a um nível aceitável. Como há sempre um elemento de riscos envolvido e deve ser definido *um nível aceitável,* deve se tratar da probabilidade de ocorrência de variáveis aleatórias e indeterminadas e distúrbios externos ao sistema. Todos estes fatores contribuem para diminuir a confiabilidade das condições de operação.

Mesmo com o mais completo sistema de intertravamento, mais cedo ou mais tarde algum ou todos dos seguintes fatos irão acontecer:

1. o processo estará fora dos limites de segurança (os limites de flamabilidade serão excedidos ou ocorrerão emissões tóxicas ou decomposições).
2. o equipamento irá falhar (o compressor entrará em surge ou o motor da bomba queimará).
3. o desempenho do equipamento irá decair (o trocador de calor entupirá ou a serpentina criará incrustação).
4. as utilidades serão interrompidas (faltará energia elétrica ou vapor).
5. o controle de processo e o sistema de intertravamento falharão ou ficarão sem confiabilidade.

Assim, deve-se estar seguro que, se tudo o mais falhar, a planta permanecerá no modo de operação mais seguro ou como ultima opção, a planta será desligada.

5.2. Tipos de Falhas

Falha é uma condição causada pelo colapso, quebra, queima, amassamento, entortamento ou desgaste de uma estrutura que não mais desempenha sua função pretendida. Exemplo: queima de fusível de instrumento elétrico, entupimento de tubo em instrumento pneumático, quebra de peça de instrumento mecânico.

Falha pode ser ainda a falta de fornecimento de energia ou matéria prima a um sistema. Exemplos: falta de 24 V cc para o transmissor de campo ou falta de água na entrada de uma bomba.

A confiabilidade do sistema é inversamente proporcional à taxa de freqüência de falhas. Uma das dificuldades na determinação da confiabilidade do sistema é a definição de falha. A natureza da falha depende do efeito que ela causa no sistema e na sua saída. Por exemplo, se uma fonte de alimentação falhar e isso provocar um distúrbio inaceitável na saída, o sistema falha. Entretanto, se um componente falhar mas se a saída não for afetada então o sistema não falhou.

As falhas ocorrem de diferentes modos:

1. Infantis
2. Casuais
3. Desgaste
4. Marginais
5. Catastróficas

Falhas infantis

As falhas infantis são assim chamadas porque elas acontecem durante a primeira fase da vida do componente e são usualmente devidas a defeitos de fabricação ou de projeto. Tais falhas ocorrem principalmente em equipamentos e componentes eletrônicos e podem ser detectadas e eliminadas por inspeção ou por melhor controle de qualidade dos componente (*burn in*).

Falhas casuais

As falhas casuais aparecem durante a vida de trabalho do componente. Elas são distribuídas aleatoriamente, segundo as leis da probabilidade.

Falhas de desgaste

As falhas de desgaste ou uso são devidas ao envelhecimento progressivo e à deterioração do componente. Elas ocorrem principalmente em equipamentos mecânicos, principalmente em peças móveis ou aquecidas. As falhas de desgaste determinam a vida útil do sistema. Uma vez que o limite de falha seja atingido, há um aumento considerável na taxa de falhas, tornando o sistema inteiramente não econômico.

As falhas acima estão relacionadas a um único componente. Porém, quando um componente está integrado a um sistema, sua falha irá afetar a integridade do sistema inteiro. Isto pode resultar em falha marginal ou catastrófica.

Falhas marginais

Falhas marginais são aquelas cujas conseqüências resultantes nas características mecânica e elétricas não afetam materialmente a operação do sistema.

Falhas catastróficas

Falhas catastróficas são aquelas cujos resultados são a quebra completa, curto circuitos, circuitos abertos ou mau funcionamento que podem causar o desligamento da planta, o estrago do componente ou ferimentos e mortes de pessoas. Elas geralmente são devidas à manutenção imprópria, insuficiente ou inexistente.

Vários métodos foram desenvolvidos, tais como **Análise de Falhas em Árvore** e **Análise do Perigo** para determinar os eventos isolados ou combinados, que podem causar uma condição potencialmente insegura. Uma probabilidade é atribuída a cada falha e o efeito cumulativo é calculado para determinar o risco final. Uma análise global das falhas possíveis determina estatisticamente a possibilidade de ocorrência, mas não torna o sistema mais confiável ou mais seguro, pois estas análises usualmente incluem somente as falhas mais prováveis e não consideram as menos prováveis.

As *falhas menos prováveis* obviamente ocorrem menos freqüentemente e usualmente residem fora do sistema, por exemplo, *blackout* da planta por causa de raios, dispositivos de desligamento (trip) impropriamente ajustados, desligamento acidental devido à manutenção, má operação do processo, falha de correção ou mau julgamento do operador

Estes eventos são menos previsíveis, Porém são tão devastadores quanto os outros prováveis.

5.3. Análise do Intertravamento

A ação do intertravamento é determinada considerando a interdependência dos equipamentos, utilidades e sistemas de controle do processo. As exigências de intertravamento devem ser analisadas para determinar sua necessidade e também os efeitos subseqüentes de suas ações e falhas.

Falhas de processo

A análise das falhas do processo depende das causas dos distúrbios (p.ex., variáveis fora dos limites de segurança) e as ações a serem tomadas (p.ex., interrupção da alimentação do produto, redução da entrada da energia, introdução de meios de resfriamento, parada de equipamentos mecânicos) Quando as causas e os efeitos tenham sido identificados devem ser tomadas as seguintes providências:

1. proteger o equipamento mecânico. Tais itens devem ser desligados em uma maneira ordenada para evitar danos.
2. evitar o religamento da planta ou do equipamento, até que a condição insegura tenha sido esclarecida.
3. rearmar os contatores automáticos do processo em seus pontos de partida, evitando que os elementos finais tendam para os limites, que poderão causar condição insegura do processo.
4. evitar que o pessoal contorne os sistemas de segurança e intertravamento (p. ex., fazendo bypass e colocando jumpers) que possam resultar em partida ou desligamento inseguro.

Falhas de utilidades

A perda possível de qualquer uma das utilidades (vapor, água, gás ou ar comprimido), local ou geral na planta, deve ser considerada. Se esta falta não pode ser tolerada ou se é necessário ativar um intertravamento critico, deve-se providenciar utilidades de reserva ou de espera (stand by). Elas podem ser fornecidas por cilindros de ar de instrumento, fonte de alimentação ininterruptível, bombas ou águas de emergência

Falhas de componentes de intertravamento

No projeto, deve ser assumido que todos os componentes do intertravamento poderão falhar em algum momento, isoladamente ou em conjunto. Deste modo, a necessidade de redundância deve ser estudada, particularmente em instalações críticas, onde mesmo uma falha parcial pode comprometer toda a eficiência do sistema de intertravamento. Em particular, o projetista deve:

1. prover circuitos redundantes do intertravamento com contatos ligados em série para iniciar o desligamento.
2. monitorar condições de alarme diferentes mas relacionadas no mesmo sistema. Por exemplo, monitorar a baixa vazão do resfriador e a alta temperatura, em vez de ter dois alarmes de vazão, para evitar a falha de modo comum de chaves semelhantes e a perda potencial de ambos os intertravamentos.
3. prover contatos de inicialização redundantes com um meio de chavear sem causar um desligamento, de modo que o sistema passa receber manutenção. Uma indicação conveniente deve ser instalada para indicar quem está ativo.

5.4. Segurança da malha de controle

O desenvolvimento da lógica do intertravamento e das malhas de controle do processo deve ser consistente com um sistema de referência de modo que uma dada seqüência de eventos tenha a mesma direção. O sistema de referência é estabelecido de acordo com o modo de falha segura do processo, elemento final de controle, malha de controle e contato de alarme.

As malhas de controle de processo devem ser projetadas para satisfazer dois critérios:

1. corrigir o processo quando a medição se desviar do ponto de ajuste e
2. evitar que o processo saia do controle, quando houver falha de um componente.

Cada componente (transmissor, controlador e elemento final de controle) deve ser especificado de modo que sua falha não provoque uma situação insegura de processo. A definição da ação de cada componente e a direção do sinal devem ambas satisfazer os critérios acima para cada malha de controle.

É possível e aceitável haver sinais contraditórios do controlador e do sistema de intertravamento. Por exemplo, o aumento do sinal de saída de controle pode aumentar a abertura da válvula de controle e o sistema de intertravamento pode fechar a válvula de controle. Na emergência, o intertravamento se sobrepõe ao controle, garantindo a segurança global do sistema.

Transmissor

Como regra geral, a saída do transmissor é diretamente proporcional à variável medida, ou seja, o aumento da variável produz aumento na saída do transmissor. A falha do transmissor, portanto, deve implicar em baixa medição. Se uma medição de processo elevado, p. ex., alta pressão, está em seu limite, então a falha do transmissor agravaria a situação perigosa. Instrumentos redundantes devem ser usados, um para o controle e o outro, preferivelmente com ação reversa, ligado aos alarmes ou intertravamentos, de modo que o sinal de controle e o intertravamento possam estar diretamente de acordo.

Uma exceção possível é o transmissor de temperatura, usando um termopar. Este instrumento pode ser especificado com a saída indo para o fim ou início da escala, quando o termopar falhar, se rompendo. Assim, o sinal de saída pode ser projetado para aumentar ou diminuir, dependendo da direção da falha requerida.

Os transmissores de temperatura com elemento de enchimento termal não devem ser usados para a medição de temperaturas críticas. A falha do elemento termal indicará uma temperatura baixa, mesmo quando a temperatura estiver subindo.

Controlador

A ação do controlador pode ser direta ou inversa. Ação direta significa: aumento da medição, aumento da saída. Analogamente, ação inversa significa: aumento da medição, diminuição da saída.

A ação do controlador é definida a partir da ação da válvula requerida para controlar o processo e da lógica de controle. A perda da energia elétrica ou pneumática irá causar inerentemente um sinal de saída baixo, levando a válvula para a condição segura. Portanto, a saída do controlador deve ser consistente com a lógica de controle e com a exigência de segurança.

Elemento final de controle

Os elementos finais de controle são usados para controlar o processo pela regulação da vazão. Estes elementos finais podem ser válvula de controle, bomba e compressor. Eles podem falhar pelo bloqueio da vazão ou aumentando a vazão além do seu limite máximo.

Os atuadores da válvula de controle são usualmente do tipo diafragma e mola. Eles são pneumaticamente atuados e podem ser especificados para falhar no estado aberto ou fechado no caso da falta do sinal pneumático.

As duas ações mais usadas para os atuadores pneumáticos das válvulas são: ar-para-abrir (falha fechada) e ar-para-fechar (falha aberta). A ação da válvula escolhida depende de sua função: ou seja, se ela é para controlar ou para desligar o processo. É possível alterar a ação da válvula, através da mudança da posição do atuador, de posicionador, solenóide e relés de sinal reverso.

No projeto, a primeira definição é da ação da válvula, considerando a sua condição segura: se totalmente aberta ou fechada. O elemento final de controle deve operar de modo que o processo vai para uma condição segura quando o sinal de controle falhar ou o intertravamento for acionado, na falta da alimentação. Se isto não é possível por causa das exigências do controle do processo, deve ser providenciada alimentação elétrica ou pneumática reserva.

5.5. Projeto do Intertravamento

Os sistemas de intertravamento devem seguir os seguintes princípios:

Primeiro princípio

Cada sistema deve falhar em seu nível de energia mais baixo ou em um ponto distante de seu limite crítico de operação.

Cada processo e cada parte dele, devem ser analisados para se determinar a principal fonte de energia de operação. As fontes de energia podem ser:

1. vapor para reboilers,
2. água de resfriamento para trocador de calor
3. a reação em si, se exotérmica
4. a mistura líquido/vapor, se inflamável
5. qualquer outra fonte de energia que pode levar o processo para fora de seus limites de segurança.

A diminuição da quantidade de energia reduz o risco do equipamento exceder os limites de projeto, ou no mínimo, diminui o perigo potencial se estes limites forem excedidos. Em outras palavras: **remover o óleo do fogo**.

Segundo princípio

Os sistemas de intertravamento e de segurança devem ser independentes de todos controles do processo e da planta

É perigoso associar e acoplar os sistemas de intertravamento com os de controle de processo e da planta. Os intertravamentos são usualmente projetados para superpor ao controle do processo. Quando eles são dependentes um do outro, através de fontes de alimentação, elementos sensores ou saídas dos transmissores comuns e o controle do processo falha, o sistema de intertravamento também falha .

Assim, é essencial que o sistema de segurança permaneça isolado, com toda a redundância, reserva e diversidade que ele requeira para aumentar a confiabilidade.

Terceiro princípio

As falhas do sinal de controle de processo devem levar o atuador final para a condição de segurança (failsafe)

A condição segura (failsafe) do sistema atuador final é determinada das considerações do processo, para remover ou limitar a quantidade de energia do processo. A direção dos sinais de controle deve ser consistente, considerando transmissor, controlador e elemento final de controle, de modo que se houver qualquer falha, resultante da perda do sinal, o sistema de controle levará o processo para a situação segura. Sempre que possível, a perda do controle do processo deve fazer o sistema falhar na mesma direção que o intertravamento.

Quarto princípio

Todos componentes elétricos que compõem um circuito de intertravamento devem ser alimentados da mesma fonte de alimentação.

Quando acontecer uma falha, todos os componentes devem ser desenergizados ao mesmo tempo, indo para a condição segura. Os intertravamentos que requerem fonte reserva (bateria) para evitar a perda da potência de alimentação, devem ser separados daqueles alimentados convencionalmente, sem reserva.

Quinto princípio

Os circuitos de intertravamento e seus componentes devem ser projetados para atuar o elemento final na direção requerida para fazer o processo falhar na condição segura, com perda de potência.

Um alarme ou trip, causado por relé ou bobina de solenóide, deve ser desenergizado e os contatos devem **abrir**. Isso garante que o sistema irá falhar na posição segura, quando houver perda da alimentação ou qualquer falha de componente.

Sexto princípio

Anunciadores, alarmes, lâmpadas de sinalização e instrumentos elétricos, exceto aqueles associados com o intertravamento, devem ser alimentados independente do sistema de intertravamento.

Cada serviço tendo um intertravamento de desligamento deve ter dois alarmes:

1. um alarme precursor ou adiantado (*early warning*) que é ativado antes que o intertravamento entre em operação (lâmpada *ALTA PRESSÃO* acendendo, piscando depois do conhecimento, buzina acionada e desligada depois do conhecimento)
2. um alarme de trip ajustável que deve ser ajustado para ativar o intertravamento, desligando o processo, depois do alarme precursor.

Sétimo princípio

Os sistemas de trip e intertravamento para cada seção da planta e seus equipamentos corretos devem ser projetados de modo que a falha de um sistema não afete os outros.

A interação entre os sistemas individuais de intertravamento é usualmente feita através do processo. Por exemplo, um compressor que fornece ar para o processo pode tripar devido a uma operação incorreta. O desligamento do compressor pode fazer o processo atingir seu limite explosivo, requerendo que a alimentação do produto seja desligada. Um sistema de intertravamento na alimentação do produto não pode ser afetado pela falha do sistema do compressor.

Os intertravamentos devem ser projetados de um ponto de vista global, para garantir que a falha do intertravamento não prejudique os sistemas de processo relacionados.

5.6. Filtrando os alarmes

Como qualquer operador de processo pode testemunhar, o problema de um sistema com muito alarmes é que há alarmes demais para administrar. O filtro de alarmes pode reduzir a sobrecarga de informação nos sistemas anunciadores, permitindo que o operador se concentre nos mais importantes. Há aplicativos de CP que tem uma metodologia para filtrar alarmes, reduzindo para até 10% a quantidade de alarmes.

O método se baseia em sistema expert para priorizar e reduzir o número de alarmes apresentados para o operador. A idéia básica da tecnologia é usar o conhecimento de um estado corrente do processo para priorizar e filtrar o conjunto de alarmes gerados pelo processo. Mentalmente, isto é como o operador filtra os alarmes: ele olha os alarmes na tela e os associa com o seu conhecimento do processo e com a situação naquele momento. O estado corrente do processo pode ser representado de vários modos. Um exemplo pode ser centrar em torno de um modelo quantitativo que descreve parâmetros que estão aumentando ou diminuindo.

Para filtrar alarmes, o objetivo é reduzir o excesso de informação, eliminando ou priorizando os sinais de alarme. Para conseguir isso, representa-se o estado do processo pelo conjunto de alarmes ativados que foi considerado suficiente. Assim, quando um alarme é ativado, pode se conseguir a priorização comparando este alarme com outros alarmes presentemente ativos. Não é necessário calcular tendências de parâmetros ou manter longas historias de variações do processo.

Uma aplicação de filtrar alarmes usa a informação do sistema de alarme para produzir alarmes priorizados para mostrar para o operador. No aplicativo, cada alarme é representado por um objeto independente com vários atributos, estáticos e dinâmicos. Por exemplo, o nome do alarme é estático (nunca se altera) e o status do alarme é dinâmico (ativado ou desativado). Cada alarme tem uma relação com o outro:

Precursor de valor

A é um precursor de valor de B quando o alarme A é esperado acontecer antes do alarme B **e** o alarme A é menos importante que B. Por exemplo, dois alarmes podem existir para alta pressão de um instrumento. Alarme A ocorre em 600 kPa e alarme B ocorre em 1000 kPa. Se os dois alarmes são ativados, A será desenfatizado pois B é mais importante que A. (**Fig. 15.**14)

Precursor direto

A é um precursor direto de B quando A é uma possível causa de B. Por exemplo, uma falha elétrica, A, pode desligar uma bomba causando um alarme de vazão baixa, B. A falha elétrica A será enfatizada com relação a vazão baixa B, para focalizar a atenção na causa possível. (**Fig. 15.**15)

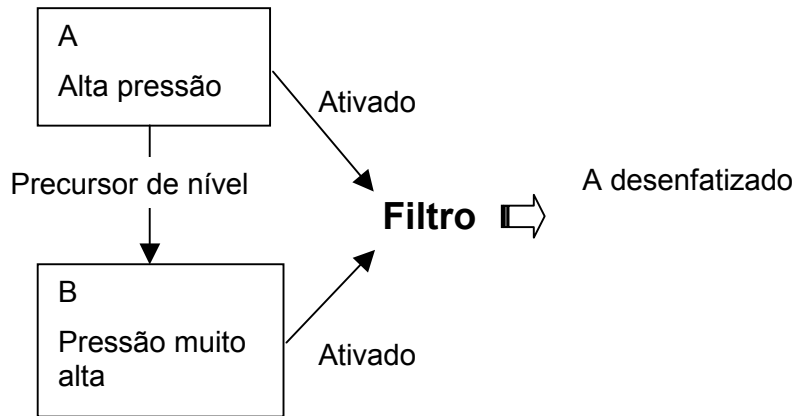



Fig. 11.14 Prioridades baseada na ativação do precursor de nível normal

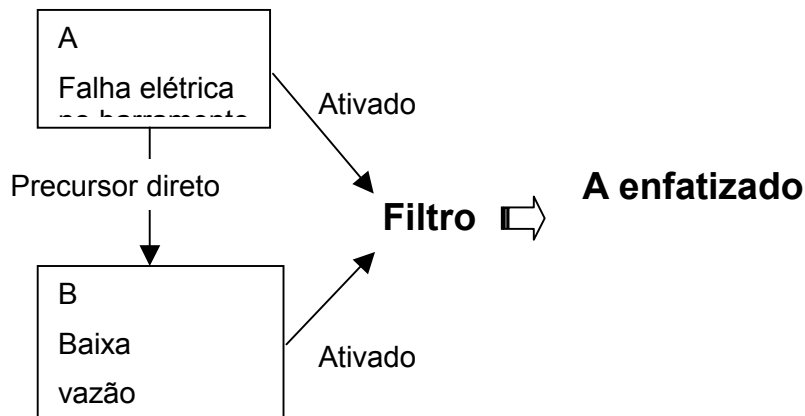



Fig. 15.15. Prioridades baseadas em ativação do precursor direto normal

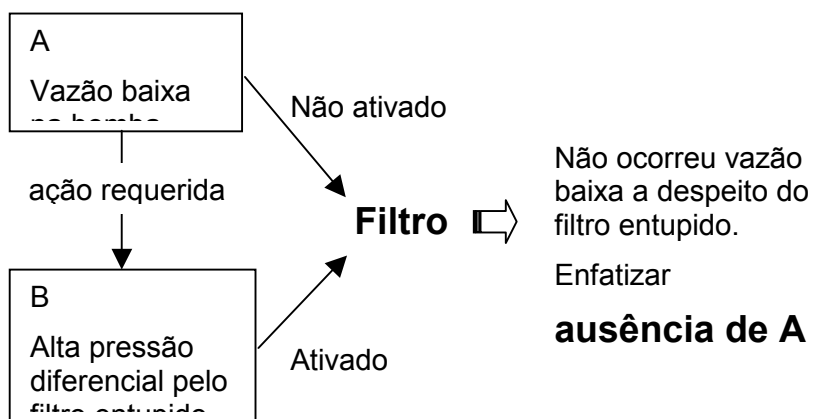



Fig. 13.16 A falta de alarme pode ser uma informação muito crítica

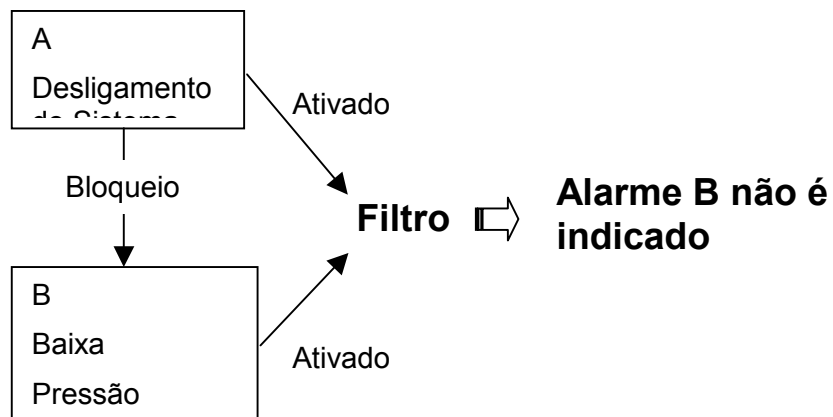



Fig.13.17. Condições dinâmicas do processo podem tornar um alarme sem significado

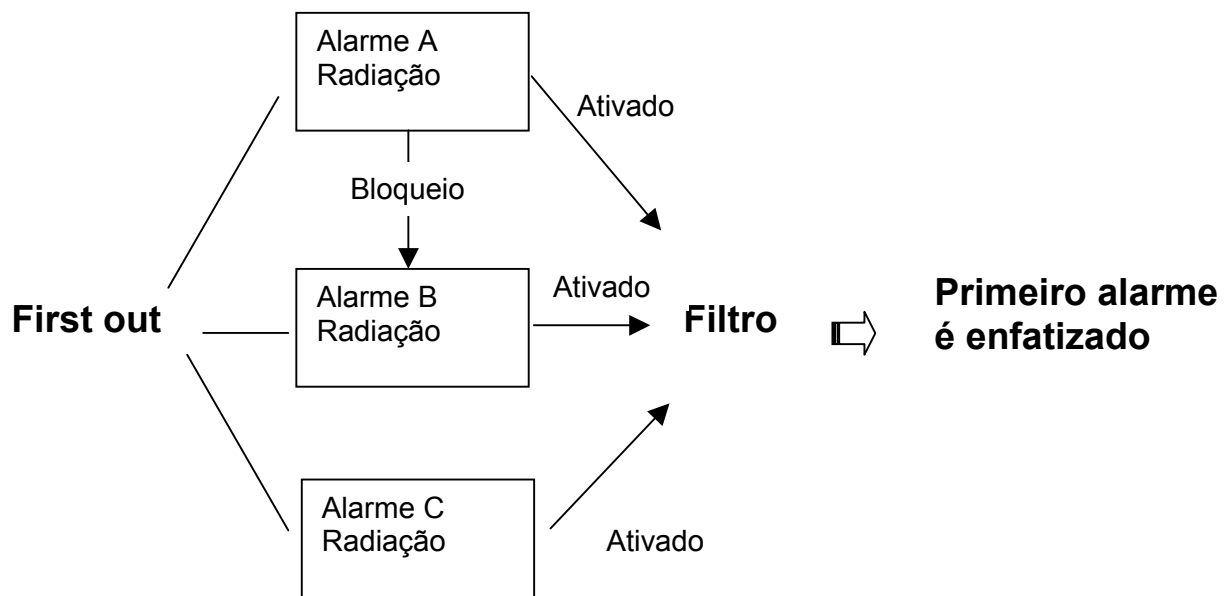



Fig. 15.18. Conceito do alarme first out.

Ação requerida

A é uma ação requerida de B, quando as condições que causam B requerem a ocorrência de A. Por exemplo, um filtro entupido pode ser alarmado por alta pressão diferencial, alarme B. Esta alta pressão diferencial desliga uma bomba para proteger o filtro e a bomba, causando vazão baixa, alarme A. Neste caso, A, a ação requerida, é desenfatizada com relação a causa, indicada pelo alarme B. Se B pudesse ocorrer sem A, (**Fig**. 13.16), ou seja, o filtro entupido sem o desligamento da bomba, o alarme A (vazão baixa) estaria presente em uma alta prioridade para o operador.

Bloqueio

A bloqueia B quando a condição que causa A torna B sem significado. Por exemplo, A é uma combinação de alarmes que indicam que um sistema é desligado e despressurizado. B pode ser um dos muitos alarmes de baixa pressão que perdem o significado quando o sistema é desligado. O alarme B pode ocorrer (baixa pressão), mas sua indicação será totalmente bloqueada. Porém, B ainda existe e pode afetar outros alarmes através de outras relações, mesmo que o operador não as perceba.

First out

Existe uma relação de first out entre A, B e C quando o primeiro deles que ocorrer é enfatizado. Por exemplo, pode ocorrer um conjunto de alarmes de radiação, mas o primeiro está provavelmente no local onde há vazamento e os outros representam um espalhamento do problema. Neste caso, o primeiro alarme é enfatizado.

Classes de Objetos

Duas outras classes de objetos no sistema são similares à classe de alarme: contato e status.

O contato é uma classe de sinais que não tem uma indicação. Por exemplo, uma chave de posição da válvula pode ser disponível para um computador e pode ser útil no filtro de alarmes mesmo se ela normalmente não afeta o display.

Um estado é ativado quando ocorre uma combinação específica de alarmes, contatos e outros estados. Um estado poderia ser usado quando uma combinação de dois de três alarmes é ativado. Este estado ativado de dois de três alarmes poderia causar alguma ação automática que geraria mais alarmes.

5.7. Circuitos de Intertravamentos

Os intertravamentos podem ser projetados de dois modos: ligando ou desligando. Geralmente, o sistema de referência básico assume que o processo é desligado, indo para o mínimo nível de energia, com os intertravamentos desenergizados. Os circuitos são assim projetados, usando a convenção da lógica positiva: contato fechado, lâmpada ligada e contato aberto, lâmpada desligada. Os contatos de relé de ligamento são mostrados em seu estado normal desenergizado e os de desligamento em seu estado normal energizado. Os circuitos são projetados para operar durante a partida do processo.

A lógica complementar é desenvolvida quando o processo é assumido estar operando em seu nível de energia mais elevado. Os circuitos de intertravamento são então projetados para operar enquanto o processo estiver desligado. Os sistemas de intertravamento podem ser projetados de ambos os modos.

Os circuitos de intertravamento são usualmente arranjados em três partes:

1. Entrada - consistindo de chaves no campo, chaves no painel, botoeiras, chaves seletoras.
2. Lógica - arranjo de contato de relé ou programas de controlador lógico programado que estabelecem a relação entre as entradas e as saídas.
3. Saída - dispositivos de atuação, válvulas solenóides, motores de partida, lâmpadas indicadoras e alarmes.

Os sistemas de intertravamentos são programados através de diagramas tipo ladder (escada), onde em cada degrau da escada tem-se contato normalmente aberto, contato normalmente fechado, contador e temporizador ligando ou desligando bobinas de relés ou de solenóides.

Intertravamento auto-cancelante

Este circuito se limpa quando a condição anormal volta para normal. Por exemplo, na Fig. 15.19, a válvula solenóide no circuito do controle de nível é energizada através de uma chave de nível ligada a linha fase L1 e ao neutro L2. Suponha que o solenóide energizada mantenha a válvula de entrada ar para fechar (falha aberta) fechada. Um nível baixo abre o contato da chave de nível. O solenóide é desenergizada e a válvula de vazão abre. O nível da vazão se corrige por si e o contato da chave de nível fecha. O solenóide é reenergizada e a entrada é fechada.

Este intertravamento é simples e pode não ser apropriado, por exemplo, se o nível está oscilando em torno do ajuste da chave de nível. Isto pode causar uma oscilação indevida do processo e um dano possível ao equipamento.

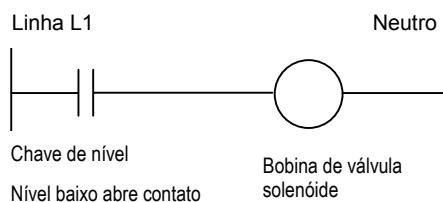



Fig. 15.19. Intertravamento autocancelante

Intertravamento de reset manual.

Para evitar o problema associado com o intertravamento auto cancelante, que volta automaticamente ao normal quando desaparece a condição insegura, foi desenvolvido um circuito que requerer ação positiva do operador para cancelar o intertravamento, assim que as condições retornem ao normal.

Por exemplo, na Fig. 15.20, suponha que o solenóide normalmente energizada mantenha a válvula de alimentação aberta. Um sinal de alta pressão irá abrir a chave de alta pressão, desenergizando o relé de controle CR1. O contato CR1-2, mostrado no segundo nível, irá abrir, desenergizando o solenóide, fechando a válvula de alimentação e aliviando a pressão. Quando o operador verificar que tudo voltou normal, pressiona o botão de rearme momentâneo. A bobina do relé é energizada, fechando assim CR1-1 e CR1-2. O solenóide é reativada e a válvula de alimentação é reaberta. CR1-1 é um contato de selo, para manter o circuito quando o botão de reset é solto.

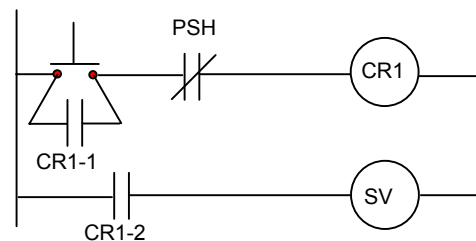



Fig. 15.20. Após o desligamento, o operador rearma o intertravamento manualmente, quando as condições voltarem às condições normais

Um procedimento rigoroso deve ser seguido quando um operador rearma manualmente um intertravamento. Seja um *reboiler* com uma válvula de controle do vapor de entrada comandada pelo controlador do processo e com um intertravamento de desligamento de alta temperatura. Durante a operação normal, considere que houve um desligamento por causa da alta temperatura. Quando a temperatura cair, voltando para a faixa segura, o operador deve rearmar manualmente o intertravamento. Mas como a temperatura agora está baixa, o controlador de temperatura irá solicitar muito vapor e isto pode ser perigoso. Deve haver um modo seguro de partida, onde o vapor aumente gradualmente.

Neste caso, uma característica de *lockout* deve ser incorporada para evitar o rearme do intertravamento até que a saída do controlador satisfaça uma condição predeterminada. O operador rearma o controlador para manual, reduz a saída do controlador a algum valor baixo, manualmente rearma o intertravamento e o sistema está pronto para a partida.

Intertravamento com bypass

Os processos ou os equipamentos que são desligados em condições de mínima são geralmente muito difíceis de serem partidos, ou inicialmente ou após um desligamento. Para evitar esta dificuldade, um circuito é usado para *bypassar* o contato de desligamento baixo até que a unidade esteja operando e somente nesta condição o circuito irá desligar, se acontecer alguma condição anormal de valor baixo. (Fig.13.21). Este tipo de circuito é muitas vezes usado em partida de compressor, quando a baixa velocidade irá desligar a unidade.

Na Fig. 15.22, considere que o compressor esteja desligado. O botão de bypass momentâneo é apertado, energizando o relé CR2. A luz acende para indicar que o bypass foi ativado. A bobina energizada do relé CR2 fecha CR2-1, o contato de selo através do botão, e o contato de bypass CR2-2. Este, por sua vez, energiza o relé CR3, que fecha o contato permissivo CR3-1 localizado no circuito de partida/parada do compressor.

Quando a velocidade do compresso aumentar acima do ajuste de velocidade mínima, o contato de velocidade mínima fecha, energizando o relé CR1. Este fecha o contato CR1-2 e abre CR1-1 em um arranjo fechar-antes-abrir (make-before-break), mantendo o contato permissivo CR3-1. O relé CR2 será então desenergizado e a luz de bypass irá apagar. Entretanto, o relé CR3 permanecerá energizado através do contato CR1-2.

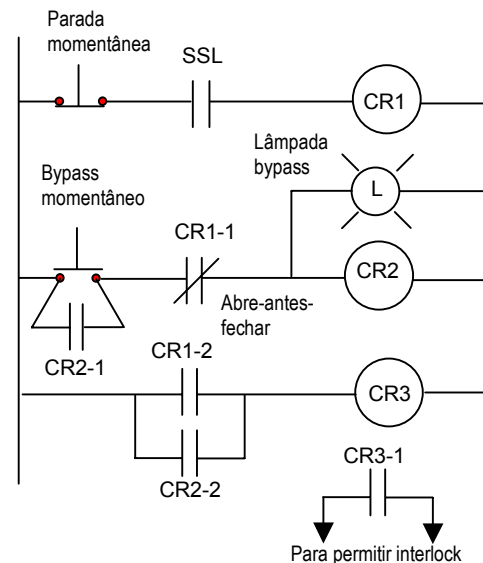



Fig. 15.21. Bypass auto-cancelante é usado para partir um compressor com um desligamento de baixa velocidade

O bypass foi então cancelado e o relé CR3 é mantido através da chave de baixa velocidade e o contato do relé CR1-1. Se a velocidade do compressor cair abaixo do ajuste de velocidade mínima, a chave de velocidade mínima irá abrir, parando o compressor. O botão de parada é para o desligamento de emergência do compressor.

Ação temporizada (time-delay)

A ação atrasada é usada quando é requerido um tempo predeterminado para permitir ao processo atingir seu ponto de operação, p. ex., para a pressão do óleo de lubrificação subir acima do nível de desligamento de baixa pressão. (Fig. 22).

Após a partida e quando a velocidade do compressor está aumentando, o contato de baixa velocidade fecha, energizando CR1 e TDR. CR1-1 fecha e TDR-1 abre após um segundo, garantindo uma superposição do contato que foi conseguido no circuito anterior.

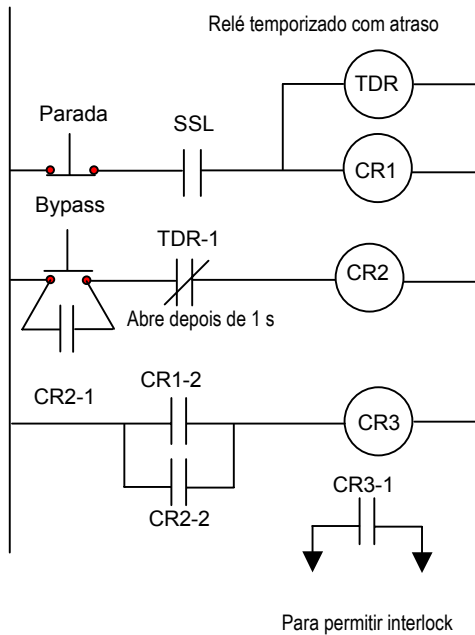



Fig. 15.22. Relé com tempo de atraso pode ser usado no lugar do relé ligar-antes-de-desligar

Cadeias de intertravamento

As cadeias de intertravamento podem ser de dois tipos: série ou paralelo.

Quando se tem muitos intertravamentos de segurança, qualquer um dos vários contatos de inicialização pode desligar o mesmo circuito (Fig. 15.23). Os intertravamentos são colocados em configuração série (AND). Os contatos são também arranjados em série onde a redundância de desligamento é requerida, de modo que um contato atua o intertravamento se um outro falhar.

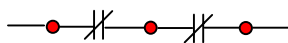
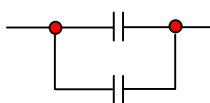
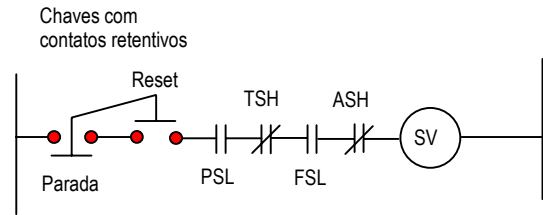
Quando se quer que mais de um contato possa atuar no circuito, eles são arranjados em redundância série para desligar (AND) ou redundância paralela para ligar (OR)(Fig. 15.23).

(a) Redundância série para desligar

(b) Redundância paralela para ligar

Fig. 15.24. Circuitos redundantes

Legenda

- PSL – Baixa pressão de N_2
- TSH – Alta temperatura do resfriamento
- FSL – Baixa vazão do O_2
- ASH – Alta concentração de CO_2
- SV - Bobina da válvula solenóide

Fig. 15.23. Contatos em série: qualquer um pode desligar o circuito, fornecendo redundância

5.8. Sistema de Votação

Quando um instrumento de processo falha, o produto fica fora de especificação, a produção pára e os engenheiros escrevem relatórios de investigação. Isto acontece principalmente durante as fases de partida e parada, quando os incidentes são anormalmente mais freqüentes.

Os sistemas de segurança tem progredido muito em confiabilidade, através de conceitos de Controlador Lógico Programável simples até os sistemas com tripla redundância. Porém, os sensores e instrumentos de campo não acompanharam o ritmo. Os instrumentos críticos de campo ainda são os controladores single loop e os pontos de desligamento. Os sistemas de desligamento de emergência aumentam a confiabilidade usando sensores independentes do sistema de medição e controle. Porém, a adição de mais componentes no sistema aumentam a probabilidade de ocorrência de alarmes falsos.

Peças e equipamentos falham. Por Murphy, geralmente falham nos piores momentos. Sempre há custos associados com desligamentos falsos ou verdadeiros, devidos a tais falhas. Porém, é fácil reduzir os custos associados aos desligamentos provocados por alarmes falsos, colocando redundância **e** circuitos de votação no sistema.

Um sistema de segurança pode ter dois tipos de falhas:

1. O processo é desligado pelo sistema de emergência, quando não há nenhuma causa válida
2. O processo não é desligado, quando há uma causa valida para ser desligado.

No sistema de segurança, 90% das falhas falsas são provocadas pelos dispositivos de campo (sensores de entrada e válvulas de saída).

Há quase uma infinidade de circuitos de votação, porém serão vistos apenas os mais úteis como:

1. um de um
2. um de dois
3. dois de dois
4. dois de três

Os esquemas de um de três, um de quatro, um de cinco e um de x, não interessam pois a probabilidade de alarme falso sempre aumenta de 100%, de um esquema para outro. Somente aumentar o número de dispositivo aumenta a confiabilidade mas também aumenta a probabilidade de alarme falso.

Nos exemplos, cada um dos quatro sistemas de votação é descrito usando transmissores de 4 a 20 mA cc e um sensor de pressão com uma faixa de 1 a 100 kPa, desligando acima de 50 kPa. As chaves não são recomendadas para sistemas de desligamento, pois não existem diagnósticos. Transmissores trabalham melhor porque um CLP ou SDCD pode ser programado para detectar a operação anormal do transmissor e alarmar o operador para reparar o transmissor.

Sistema um de um

O sistema de votação um de um só atua quando o transmissor vota para desligar.

A votação um de um é o mais simples de instalar. Não são necessárias tomadas múltiplas, a programação é mais simples e a instalação de cabos e fios é mais barata. Ele pode ser programado para ser falha segura: para uma configuração de transmissor, se o sinal é abaixo de 3 mA ou acima de 21 mA, o sistema de desligamento de emergência deve ser programado para reconhecer isto como uma falha e votar um desligamento. Se o transmissor excede estes valores em uma entrada para um CLP, o CLP pode grampear a saída de qualquer malha de controle (não a malha do sistema de desligamento) que usa este sinal e alarmar a condição para o operador.

A desvantagem deste esquema, a longo prazo, é que o custo e perdas de produção são altos, pois ele não diminui a probabilidade de alarme falso.

Sistema um de dois

O sistema de votação um de dois só desliga quando um ou os dois transmissores votam para desligar o sistema.

O sistema de votação um de dois aumenta a flexibilidade. Ele usa dois transmissores, e como conseqüência há um aumento de módulos de entrada, carga do sistema, maior quantidade de cabos. Os dois transmissores devem ser ligados a dois módulos de entrada separados do CLP.

No sistema de votação um de dois, o CLP deve ser programado para votar para um desligamento na falha de um transmissor ser seguro em falha. Porém, alguns sistemas requerem uma falha de sinal baixo nos dois transmissores ou uma única falha de sinal alto para um desligamento.

Em um sistema de controle com SDCD, o segundo transmissor adiciona uma ferramenta de detecção valiosa. Agora o SDCD pode detectar falha de um transmissor dentro da faixa de sinal de 4 a 20 mA, comparando as duas entradas e alarmando se elas de desviam de, por exemplo, mais de 5%. Quando o sistema de desligamento possui dois transmissores e o SDCD um transmissor dedicado, os dois transmissores do desligamento podem se comunicar com o SDCD e os três transmissores podem ser comparados.

No exemplo de um transmissor com um ponto de desligamento em 50 kPa, o instrumentista pode zerar o transmissor em linha sem afetar o sistema. Porém, o instrumentista não pode abrir a malha de 4 a 20 mA para calibrar o sinal de corrente, pois se o sinal vai para zero, é detectado como falha e desliga o processo.

Dois de dois

O sistema de votação dois de dois só desliga quando os dois transmissores votam para desligar o sistema. Quando apenas um vota, ele considera alarme falso e não desliga.

Neste esquema, os dois sensores devem reportar uma condição de desligamento, para haver desligamento. O esquema dois de dois não é considerado seguro em falha porque há muitas condições em que um transmissor pode estar fora de serviço e incapaz de desligar. Assim, mesmo que o transmissor transmita um voto para desligar, não ocorre o desligamento.

No exemplo do transmissor de pressão, há vários cenários em que não ocorre um desligamento quando deveria ocorrer. Se um transmissor é aberto para a atmosfera e lê 0 kPa G, ele envia um sinal de 4 mA para o sistema de desligamento e o outro transmissor está monitorando o processo, o desligamento nunca será possível, porque o primeiro transmissor nunca irá votar para desligar.

Em outro caso, se um instrumentista está fazendo o ajuste de zero do transmissor, em linha, este transmissor está efetivamente bypassado e incapaz de votar para o desligamento, e portanto nunca haverá desligamento.

O sistema de votação dois de dois normalmente não é usado em processo ou segurança pessoal. Ele é muito usado em sistema de monitoração de equipamento rotativo (vibração e deslocamento axial), onde há problema de espaço para montar três sensores.

Dois de três

O sistema de votação dois de três só desliga quando dois transmissores ou os três transmissores votam para desligar o sistema. Quando apenas um vota, ele considera alarme falso e não desliga.

O esquema de votação dois de três é o mais caro de instalar e adquirir, mas é o mais fácil de manter e monitorar e provê o mais alto nível de confiabilidade para a operação correta da planta.

As duas primeiras linhas olham o sinal real do processo e votam para desligar se a pressão de 50 kPa é excedida. As duas linhas de baixo detectam falha na saída baixa do transmissor (i.e., abaixo de 3 mA). Neste exemplo, a falha de saída alta não é usada; em vez disso, qualquer sinal acima de 21 mA é detectado como desligamento pelo sinal do processo votante maior que 50 kPa. Se isto não aconteceu, mais linhas são necessárias para detectar falha de alta saída. Uma mensagem na impressora é parte da saída, de modo que o operador entende a causa da ocorrência do desligamento. Neste caso, o desligamento foi provocado por sobrepressão.

Alguns esquemas usam o meio de três para determinar um valor de processo e depois votar somente este valor. Esta é uma técnica valida, mas deve-se monitorar a falha dos transmissores.

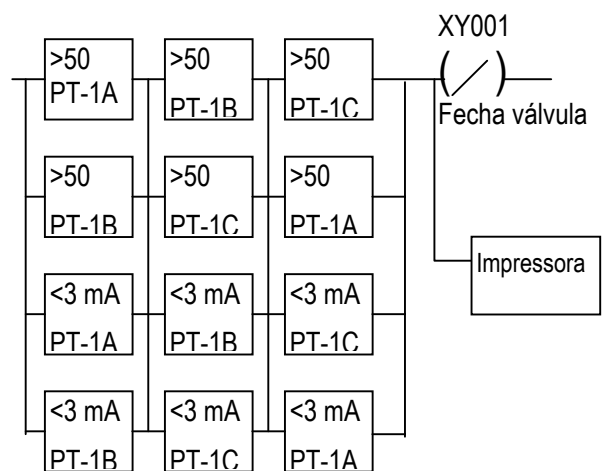



Fig. 15.25. Lógica para votação de dois de três

Comunicando os valores do sistema de desligamento para o sistema de controle (SDCD) ou outro sistema digital para monitorar, comparar valores e alarmar quando houver discrepâncias entre eles maiores que 5%, permite o operador efetuar reparos no transmissor de campo. Para isso, as saídas dos três transmissores devem entrar em módulos de entrada separados, de modo que, se o instrumentista induz falha no módulo A, os módulos com os transmissores B e C continuam em linha e votando. Se os três transmissores estão montados no mesmo módulo de entrada, a falha deste módulo de entrada causa um desligamento.

Aplicação prática

Por exemplo, os termopares são pouco confiáveis quando se queimam freqüentemente, provocando desligamentos falsos, se cada termopar estiver ligado a um único intertravamento. Para garantir que foi um distúrbio do processo (elevação da temperatura) que iniciou o desligamento, e não apenas outra queima do termopar, um circuito de votação é usado, em que mais de um sensor medindo a mesma variável (p. ex., dois de três) sejam requeridos para detectar uma condição de alarme que irá acionar o desligamento.

Na Fig. 15.26, três termopares medem a mesma temperatura e são ligados através da bobina do relé ao sistema de intertravamento com sistema de votação de dois em três elementos: o sistema só é desligando quando dois de três termopares atuarem.

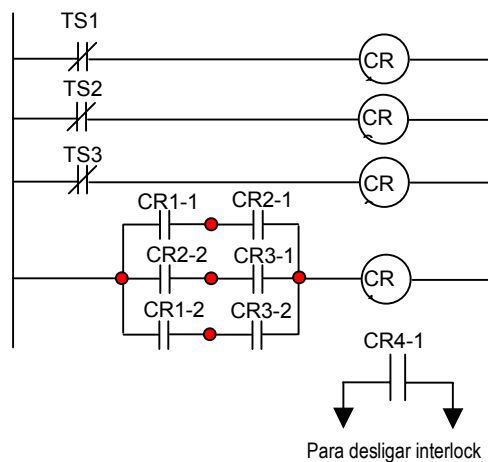



Fig. 15.26. Circuito de votação onde dois de três termopares devem atuar ou falhar para causar um desligamento

Quando apenas um termopar atua, não há desligamento. Por exemplo, quando TS1 abre, CR1 é desativada, abrindo CR1-1 e CR1-2, mas CR4 não é desativa.

Quando dois termopares atuarem, há desligamento. Por exemplo, quando TS1 e TS2 abrem no mesmo período de tempo e o terceiro TS3 permanece operando, CR1 e CR2 são desativadas, abrindo CR1-1, CR1-2, CR2-2 e CR2-1. Agora, todos os três circuitos paralelos são desligados, embora TS3 esteja ainda operando. CR4 está desativada e o intertravamento de desligamento funciona.

Falha da fonte de alimentação

Embora a fonte de alimentação não faça parte do sistema de votação, ela tem um grande impacto na confiabilidade de um sistema de desligamento ou no CLP. Deve haver redundância de fonte, de modo que quando há falha em uma, a outra suporta a alimentação do sistema e não há desligamento do sistema. As fontes redundantes devem ser alimentadas de linhas independentes, de modo que a falta de alimentação de uma fonte não desliga também a outra.

5.9. Falhas do Intertravamento

Regras e recomendações

Quando se projeta um sistema com ação automática de emergência, há várias regras que devem ser seguidas quando o sistema é crítico ou quando se quer aumentar a segurança do sistema:

1. O sistema deve ser projetado de modo que o operador da planta possa fazer manualmente o que o sistema faz automaticamente
2. A ação automática, desligamento ou partida, deve ser alarmada. A ação automática nunca deve ser tomada sem que o operador da planta fique sem saber do que está ocorrendo.
3. A ação automática deve ser bloqueada. O equipamento que foi desligamento automaticamente não deve ser automaticamente religado simplesmente por que a condição que causou o desligamento já voltou ao normal. Uma vez que ocorreu uma ação automática, ela deve ser mantida em seu status de desligamento até que o operador do processo saiba que a

situação que causou o desligamento tenha sido corrigida. O operador pode, então, em sua decisão própria, religar o equipamento usando o procedimento apropriado.

4. Se o sistema tem mais do que uma entrada, geralmente chamada de *permissão* e qualquer entrada pode levar o equipamento ao desligamento ou evitar que ele seja partido, então esta entrada deve ser claramente identificada pelo sistema.
   Caldeiras e esteiras são dois exemplos de equipamentos que podem ter várias permissões, sendo qualquer uma delas capaz de evitar a partida do equipamento ou desligá-lo, em caso de alguma condição insegura. A pessoa que tem de fazer a pesquisa de defeito e corrigir a falha deve ser capaz de determinar imediatamente onde está a falha. Quando se gasta muito tempo para tentar localizar a permissão que evita a operação, a tendência do operador da planta é modificar o sistema para contornar as estas causas de modo que a produção retorne logo.
5. Se as condições da planta são tais que o operador tenha perdido o controle da situação, então todos os dispositivos finais do tipo 5 devem ir para o status de emergência por sua conta. A perda do controle geralmente implica em perda completa da potência, elétrica e pneumática.
6. Se as conseqüências de um desligamento não planejado, em perdas de produção ou perigo para o equipamento, são sérias, então se deve incluir um alarme precursor, que seja disparado pela mesma variável de processo que provocou o desligamento de emergência mas em um valor mais anterior. A idéia atrás do alarme precursor é alertar o operador para o fato de que há um perigo potencial tendendo a se desenvolver e para dar ao operador tempo para ele tomar decisão para corrigir o problema antes que seja ativado o desligamento automático do processo.
7. Um item que não é considerado no projeto é a capacidade do operador da planta anular um sistema de desligamento automático. Há casos onde isto é desejável e seguro e outros casos onde não é. Este aspecto certamente deve ser considerado no estágio de projeto, mas com o devido cuidado dos problemas potenciais. Há casos registrados onde um sistema de emergência foi contornado por boa razão, talvez para fazer uma pequena emergência, mas ninguém se lembrou que o contorno não foi removido até que aconteceu uma emergência real e o sistema estava sem proteção.
8. Desde que qualquer permissão pode causar um desligamento, cada permissão que é adicionada aumenta a chance de ocorrência de um desligamento automático. Quando os projetistas consideram todas as circunstâncias desfavoráveis, algumas plantas acabam tão bem protegidas que elas são protegidas até contra a operação.
9. O desempenho dos operadores de processo geralmente é relacionado com a produção. Se a produção está sendo interrompida por circuitos eletrônicos automáticos, então a tentação é a de desligá-los. Melhor é correr o risco de operar sem proteção do que não operar de modo nenhum. O ponto é, o projetista do sistema deve ter a responsabilidade de se envolver nesta situação. A situação é realmente séria ou somente desagradável? A ação automática é realmente necessária ou o operador da planta pode ser capaz de administrá-la ao seu critério. É realmente necessário ter um desligamento automático ou um simples alarme de pre-emergência é adequado?
10. Logo após a partida, partes da planta ficam tão quentes que as juntas flangeadas começam a fumegar. Uma rápida investigação encontrou que o *trip* de segurança de alta temperatura e o controlador de temperatura (um instrumento combinado) tinham sido desligados de sua alimentação.
11. Uma das primeiras regras do projeto do sistema de trip é que deve ser impossível desarmar um trip através de seu desligamento (unplugging). O desarme deve ser feito com uma chave somente após uma autorização

adequada. Também, o desarme deve ser devidamente notada por uma lâmpada ou algum outro indicador no painel do operador.

12. A maioria dos sistemas de trip deve operar (i.e., fechar uma válvula ou desligar uma bomba) se a energia é perdida. Se o trip não é previsto operar na falha da potência, então um alarme deve soar para indicar a perda da potência do sistema de trip.
13. As chaves de trip e controladores devem ser independentes entre si. As falhas mais comuns ocorrem na malha de controle, que incluem o sensor, transmissor, controlador, atuador, válvula Os trips devem ser independentes destes componentes.
14. Finalmente, todos os sistemas de trip devem ser testados na partida, principalmente se eles atuaram durante o desligamento da planta. Em fornos e compressores, eles devem ser testados após todos os grandes desligamentos.

Ignorando as leis da física

Algumas malhas de instrumentos não podem funcionar porque elas violam as leis da física. Outras não podem funcionar porque o engenheiro de instrumentação esqueceu informações básicas. Aqui estão três exemplos:

1. Uma faixa limitada de um visor de vidro - Um visor de vidro foi montado em um vaso. O vidro mede 1,20 m de comprimento e esta conectado aos braços das tubulações que estão 60 cm afastados.

Do modo que a tubulação está arranjada, este visor irá indicar o nível apropriado em apenas uma faixa muito limitada. De fato, o visor nunca irá mostrar o nível abaixo da tomada inferior e nunca irá indicar que o tanque está cheio totalmente.

Se o nível do líquido cair abaixo da tomada inferior, o líquido no visor ficará represado. Seu nível não pode cair abaixo da tomada. Se o nível do tanque subir acima da tomada superior, o vapor será represado na tomada superior do visor. Se qualquer gás não condensável estiver presente no vapor, a pressão ira manter o nível no visor abaixo de seu valor verdadeiro.

2. Confundindo vapores e gases - O exemplo anterior mencionou *gás não condensável*. Há uma grande diferença entre vapores e gases não condensáveis. E a diferença pode tornar uma malha segura ou insegura.

Em um vazo que normalmente está com meio nível de líquido, Um controlador mantém o nível sob as condições normais, e uma chave de nível desliga a válvula de entrada se o nível fica muito alto.

Se o controlador de nível e a chave de nível falham simultaneamente, uma chave de pressão age como reserva. Quando o nível aumentar no tanque, o gás será comprimido. Quando a pressão atingir um determinado ponto, a chave de alta pressão ira acionar e desligar a válvula de entrada. Mas, quando o espaço acima do líquido tiver ar, nitrogênio ou outro gás não condensável, este sistema não irá funcionar.

Infelizmente, este vaso contem gás liquefeito. Quando o nível sobe, o vapor condensa de volta para o líquido. A pressão não aumenta o suficiente para acionar a chave de alta pressão. Enquanto a chave não funcionar, o gás será jogado fora através da válvula de alivio. O projetista deste sistema não compreendeu e não levou em consideração a diferença entre um vapor e um gás não condensável.

3. Esquecendo o spray - Em uma planta de ácido nítrico, a amônia é vaporizada, misturada com o ar e passada através de um catalisador. As vazões de amônia e de ar são medidas e controladas, de modo que, a concentração de amônia está sempre abaixo do nível explosivo. Infelizmente o engenheiro de instrumentação desprezou os efeitos do *spray* e a planta explodiu.

Quando o controlador de nível do vaporizador falhou, a malha foi colocada em controle manual. O nível ficou tão elevado no vaporizador, permitindo que o spray da amônia fosse carregado para frente. Por causa do spray, o transmissor de vazão leu baixo, a concentração de amônia aumentou e assim, ocorreu a explosão.

Todos as medições de vazão são imprecisas quando está presente o spray. Se o spray aumenta a densidade do gás

por 50%, a vazão de vapor e líquido pode ser 25% maior que a indicação do medidor.

Projeto errado torna os intertravamentos inúteis

Os sistemas de intertravamento de segurança devem ser acionados *(take over)* quando ocorrer as condições de perigo. Aqui estão dois exemplos de *trips* que não funcionaram por causa de seu projeto errado.

Protegendo o equipamento errado. Neste exemplo, o trip é reserva da unidade que é a menos provável de falhar. A pressão no vaso é medida por um transmissor de pressão (PT). Um controlador de pressão (PIC) ajusta a válvula de controle para manter a pressão no ponto de ajuste.

Se o sistema de controle falhar e a pressão subir acima do ponto de ajuste, uma chave de alta pressão (PSH) irá atuar e fechar a válvula de controle. A chave opera também um alarme de alta de pressão (PAH).

Este sistema de intertravamento é quase inútil. As causas mais prováveis de falha são:

1. o transmissor de pressão falha. Se isso ocorre o sistema de trip da pressão não pode operar,
2. a válvula de controle trava. Embora a chave de pressão seja acionada e tente fechar a válvula, a válvula não irá responder.
3. o controlador de pressão falha. Neste caso, o trip irá funcionar. Entretanto, o controlador está dentro da sala de controle, que supostamente é um lugar limpo e protegido e o controlador é mantido facilmente. Assim, o controlador é o equipamento menos provável de falhar ou o mais confiável do sistema.

Este sistema de proteção funciona somente um terço do tempo. Tal sistema é melhor nem ter. Ele faz mais mal do que bem, porque se você espera ele funcionar você descuida de observar a pressão com pressão.

Um sistema melhor: O trip de alta pressão (PSHH) tem uma linha independente para o vaso e opera uma válvula de controle separada. Um pré alarme desliga uma chave de alta pressão ligado ao transmissor de pressão. O pré alarme permite ao operador saber que a pressão está próxima do limite máximo de trip. Isto permite ao operador tomar alguma providência antes do desligamento (shutdown).

O pré alarme irá operar 2/3 do tempo, durante as falhas da válvula e do controlador mas o trip irá operar praticamente em todas as condições.

O indicador pode mentir. Em uma planta de oxido de etileno, o processo se desligou automaticamente e uma lâmpada do painel disse ao operador que a válvula de oxigênio estava fechada. Como a planta deveria ser religada imediatamente, o operador não fechou a válvula manual de reserva do oxigênio. Antes que a planta fosse religada, ela explodiu. A explosão ocorreu porque a válvula de oxigênio não estava realmente fechada, e assim, o oxigênio continuou a entrar na planta.

A válvula de oxigênio fecha quando seu ar venta para a atmosfera através de uma válvula solenóide. A lâmpada do painel simplesmente indica que a válvula solenóide esta desenergizada, isto é, ela não esta mais usando a energia elétrica. Mesmo que o solenóide esteja desenergizada, o oxigênio pode continuar fluindo, devido a alguma das seguintes razoes:

1. a válvula solenóide não abre,
2. o ar não venta da válvula de oxigênio,
3. a válvula de oxigênio não se move,
4. a válvula de oxigênio se move, mas não fecha. Em alguns projetos, mesmo quando a agulha se move, a válvula pode não fechar.

Neste caso, aconteceu a hipótese 2: a linha de vent estava estrangulada por um ninho de mosca e a pressão do ar não podia ser liberada.

Se esta situação parece familiar, ela é. O mesmo tipo de erro do indicador aconteceu em Three Mile Island, em 1979. Lá, uma válvula de alivio no sistema de resfriamento primário abriu e falhou de resetar. Como a lâmpada indicadora dizia que a válvula estava fechada, o operador não entendeu o que estava acontecendo

no reator e tomou todas as decisões erradas.

Como relatado, *a posição da válvula principal não era sentida diretamente, em vez disso, uma luz indicadora no painel de controle principal assinalou que a válvula solenóide tinha sido atuada e a posição do solenóide foi considerada como a indicativa da posição da válvula*.

Monitoração da variável certa

Em muitos casos - como aqueles mencionados anteriormente - a variável errada é monitorizada. Por exemplo, em vez de verificar se a válvula está aberta, o sistema olha o estado do solenóide ou um sinal de controle e age como se a válvula estivesse aberta. Isto pode causar problemas.

Assumindo a vazão. Uma caldeira tem um trip que desliga a vazão de óleo se o suprimento de ar falha. A vazão de ar é detectada pela medição da tensão do motor elétrico que aciona o ventilador de ar. Aqui o sistema diz que o ar está consumindo energia. Ele pode não estar girando. Este sistema de trip irá funcionar somente se o motor falha ou a energia é interrompida.

Mas, se a vazão de ar falha por causa da quebra ou desprendimento da correia, de um impeller quebrado ou frouxo, ou um bloqueio no duto de ar, o sistema de trip não irá funcionar. A vazão de deve ser medida diretamente para que o sistema de trip opere seguramente.

Assumindo a vazão. Este é um exemplo similar, envolvendo a vazão de um fluído. A linha de ar para a válvula quebra, fazendo a válvula fechar e desligar a vazão de diluente para um reator. A perda de diluente faz o reator superaquecer.

Em condições normais, a perda da vazão do diluente faz um alarme soar. Porém, o desligamento da vazão é detectado pela monitoração da unidade elétrica que controla o suprimento de ar da válvula. Desde que isso fosse normal, o sistema pensaria que a válvula estivesse aberta. Para este sistema funcionar corretamente, a vazão do diluente deve ser medida diretamente.

Flashing do óleo da fornalha - Em mais de uma ocasião, a atmosfera na fornalha tem sido testada com um detector de gás combustível justo antes da explosão. Embora o detector indicar que nenhum gás combustível esta presente, uma explosão ocorre quando um lighted poker ou spark ignitor é usado para religar a fornalha.

Na maioria dos casos, a fornalha esta quente e contem vapores de óleo quando ele é verificado. Muitos detectores de gases combustíveis, Porém, não podem detectar vapores de óleo combustível. Isto porque o vapor condensa de volta para óleo líquido durante o procedimento de amostragem. Isto é especialmente verdadeiro com dispositivos que usam disco de metal sinterizado para proteger a cabeça do detector. O vapor do óleo aquecido condensa no disco metálico.

O mesmo problema ocorre durante a solda. Embora o detector forneça uma leitura segura, traços de óleo pesado ou polímeros são vaporizados pelo chama da solda e assim queimados.

Fornos contendo vapore de óleo pesado deveriam ser purgados por tempos suficientes para remover todos os traços de vapor antes de serem religados. Justo porque não se pode medir o vapor, não significa que o vapor não esteja presente.

A lição a ser aprendida destes três exemplos é simples: sempre medir diretamente a variável que é crítica para o sistema de segurança - não medir alguma outra propriedade e fazer hipóteses inseguras.

Controle remoto, sistemas manuais

Há um tipo de sistema que pode ser considerado para qualificar como um sistema de emergência, embora ele não funcione automaticamente. Ele funciona pela atuação do operador. Neste sistema, válvulas, dampers, portas, motores e outros dispositivos são operados por controle remoto da sala de controle. Se há um incêndio, por exemplo, ele pode ser necessário para fechar uma válvula crítica de um local remoto. Fechar a válvula manualmente pode ser demorado ou pode ser impossível por causa do incêndio.

Este sistema pode ser implementado facilmente, o equipamento já está prontamente disponível. O que geralmente acontece, porém, é que depois que o sistema foi instalado, decidiu-se fazer

modificações para operar a válvula remotamente. Esta modificação parece razoável, porém, além dos controles locais também são necessários os controles remotos e um sistema de seleção remoto-local. Aí começam os problemas. Se a chave seletora é para ser localizada na sala de controle, então outro conjunto de fios deve correr do processo para a sala de controle. Isto é trabalhoso e caro e decide-se colocar a chave seletora no processo. O problema potencial é previsível e já aconteceu várias vezes. A chave seletora está na área do processo e quando há uma emergência, o operador que está na sala de controle é incapaz de atuar na válvula. Os controles foram bloqueados na estação seletora do campo.

Obviamente, para evitar esta situação a estação de controle deve ser projetada para operar em paralelo, ou na chave da sala de controle ou na chave do local do processo. Este arranjo requer mais fios e tempo para instalação, mas mesmo estes custos são menores que o custo potencial resultante da impossibilidade do operador operar uma válvula crítica em emergência.

Sistemas energizados e desenergizados

Uma questão básica é se um sistema automático de desligamento deve ser projetado para operar normalmente energizado ou normalmente desenergizado. Aqui o termo *normalmente* significa quando as condições do processo ou da planta estão normais. Esta interpretação sem sempre está de acordo com o significado de normalmente que o pessoal da instrumentação e elétrica aceitam.

As opiniões parecem ir em três direções:

1. Aqueles que estão totalmente convencidos de que os sistemas de emergência devam funcionar normalmente energizados
2. Aqueles que estão totalmente convencidos de que os sistemas de emergência devam funcionar normalmente desenergizados
3. Aqueles que não estão convencidos de que seja necessário ou mesmo desejável padronizar alguma das práticas acima.

Tentar provar que qualquer uma das três posições acima é correta é totalmente inútil. Uma explicação dos fatores envolvidos é suficiente

Em um sistema normalmente energizado, a corrente elétrica flui na entrada do circuito entre a chave de alarme e a lógica e na saída do circuito entre a lógica e o equipamento final quando as condições do processo são normais e seguras. Se uma condição anormal aciona a chave de alarme, ela abre o circuito de entrada para quebrar a corrente elétrica. Isto alerta a lógica para a condição anormal. A lógica então quebra a corrente do equipamento final, que o leva para o status de emergência. Se o sistema de emergia opera com potência pneumática em vez de elétrica, o fluxo de corrente é substituído por pressão de ar.

Um sistema normalmente desenergizado funciona do modo inverso. Quando as condições do processo estão normais, não há corrente fluindo ou há pressão pneumática zero, nos circuitos de entrada e de saída do sistema. Se for detectada uma condição anormal, aparece corrente elétrica ou pressão pneumática no circuito de entrada para alertar a lógica e então o circuito de saída é ligado para colocar o equipamento final em status de emergência.

Os benefícios de uma filosofia são as fraquezas do outro. No sistema que opera normalmente energizado, os sinais de entrada e saída (ligado para normal, desligado para anormal) são transmitidos através de fios elétricos ou tubos pneumáticos. Às vezes, as linhas de sinais são quebradas. Como o sistema normalmente energizado reage a isto?

No lado da entrada, um fio aberto ou um tubo quebrado tem o mesmo efeito que a abertura da chave de alarme. O fluxo de corrente é interrompido e o sistema *tripa* para emergência. No lado da saída, um fio aberto pára o fluxo de corrente e desliga o equipamento final. De novo, o sistema vai para emergência. Assim, um sistema normalmente energizado responde não somente a uma condição insegura do processo, como determinado pelos contatos da chave de alarme, mas também responde imediatamente à falha nas linhas de sinal de entrada e de saída. Um sistema

energizado monitora não somente o status da chave de alarme mas também o status de suas linhas de comunicação.

Para um sistema desenergizado, em que não há corrente ou pressão de ar quando as condições estão normais, uma linha de sinal pode ser interrompida, o sistema fica inoperante e ninguém toma conhecimento disto até que haja uma emergência real e sistema de proteção não responde.

Além disso, em um sistema energizado, desenergizar o equipamento final o leva para um status de emergência. Se há um problema maior que desliga toda a alimentação elétrica e pneumática, então todos os equipamentos finais vão para emergência, como deviam. Neste aspecto, o sistema energizado segue a regra de segurança (em caso de falha, todos os equipamentos finais vão para o status de emergência por conta própria).

O sistema normalmente desenergizado não segue esta regra por que é necessário energizar os equipamento finais para tripá-los no status de emergência. Se uma catástrofe desliga as fontes de alimentação, isto não pode acontecer. O sistema de emergência não faz nada para ajudar a situação e, às vezes, pode até piorar.

Sendo assim, porque há ainda muitos sistemas de desligamento normalmente desenergizados? A resposta continua, ainda, na produção. Como é necessária a potência para sustentar um sistema energizado em seu estado normal, qualquer interrupção de potência, mesmo de curta duração, irá causar um trip para emergência. Como todos sabem, falta de energia pode ocorrer por razões que não tem nada a ver com a operação, como raio de tempestade, partida de grande máquina na planta vizinha, erros humanos de abrir ou fechar a chave errada e tudo isso pode fazer um sistema normalmente energizado desligar automaticamente uma planta, sem necessidade.

O desligamento do processo por qualquer uma destas razões é chamado de *desligamento falso* (*nuisance shutdown*). Eles são muito prejudiciais, pelos problemas de operação e perda de produção que provocam. Por causa disso, muitas pessoas vetam a instalação de sistema de emergência que opera normalmente energizado.

O problema real com sistema normalmente energizado não é tanto a causa de desligamentos sem sentido, mas o fato dele não perdoar as falhas que podem ocorrer por razões naturais, operacionais ou impostas. Sob o ponto de vista global da planta, o sistema normalmente energizado é mais seguro porque ele está de conformidade com a regra de segurança que estabelece que todos os equipamentos finais devem ir para o status de emergência em caso de perda de controle da situação.

Deve-se usar o sistema normalmente energizado e atacar os problemas associados a ele. Falhas que sejam naturais ou superpostas podem ser virtualmente eliminadas pela seleção de uma fonte de alimentação 100% confiável, usando-se backup de bateria e sistema de *no-break*. Problemas devidos a falha humana podem ser minimizados através de melhor treinamento, melhor sinalização e tomando-se mais cuidado.

Finalmente, quando se vai decidir entre um sistema de desligamento automático normalmente energizado ou desenergizado, deve-se preferir o energizado ou pensar cuidadosamente para optar pelo sistema normalmente desenergizado, prevendo as conseqüências da decisão.

Equipamento

O equipamento a ser usado no sistema de desligamento de emergência deve ser cuidadosamente selecionado. Se qualquer equipamento é localizado em área externa e é mantido em um estado energizado por um ano ou mais, pode-se ficar surpreso se ele operar quando for chamado para. Vários fatores podem impedir a operação normal do equipamento, como corrosão, sujeira, magnetismo residual, umidade, variações de temperatura e as intempéries do ambiente. Estes problemas podem ser diminuídos através de

1. Uso de chaves de alarme, válvulas solenóides e outros componentes de altíssima qualidade
2. Teste do sistema em uma base regular. Para testar completamente o sistema pode ser necessário instalar

um *bypass* em torno do equipamento final. Se isto é realmente feito, deve-se instalar um alarme do tipo 1 no *bypass* para alertar o operador para o fato que o há um *bypass* e o equipamento final está sem proteção.

Dispositivos Lógicos

O equipamento usado para desenvolver a lógica entre os contatos de inicialização e os operadores finais podem ser com relés ou com microprocessadores.

Os relés e seus contatos associados são fiados fisicamente, ponto a ponto, de acordo com o circuito do diagrama ladder correspondente. Geralmente é muito difícil fazer mudanças no campo, especialmente onde os relés adicionais são usados ou os contatos são de operação reversa (de normalmente abertos para normalmente fechados).

Os controladores programáveis são geralmente preferidos quando se quer velocidade e confiabilidade. Por exemplo, o relé eletromecânico opera em 6 a 8 ms, enquanto o microprocessador requer somente 2 a 3 ms. A decisão de usar relés ou microprocessadores depende da complexidade do sistema e do número de entradas e saídas. O custo inicial dos controladores programáveis é muito maior do que dos relés, desde que um sistema de referência básico, programa e fonte de alimentação sejam requeridos, independente do número de módulos de entrada/saída. O ponto de *crossover* do custo instalado é aproximadamente de 75 relés.

A lógica do controlador programável é gerada usando rotinas de programação fixas programada para estar de conformidade com a lógica de intertravamento requerida. Os teclados são fornecidos com o controlador e a programação pode ser feita usando diagramas ladder. O sistema completo consiste de circuitos e entrada, módulos lógicos e circuitos de saída.

Os circuitos de entrada condicionam o sinal dos contatos externos do campo (p. ex., termopares) para o módulo lógico. Os circuitos de saída condicionam o sinal dos módulos lógicos para o controlador final (p. ex. bobinas de relés, válvulas solenóides). Os módulos lógicos são feitos com componentes de estado sólido em cartões de circuito impresso. Eles geram as funções lógicas (OR, AND) que são equivalentes a contatos paralelos ou série em uma matriz de relés.

As funções lógicas (OR, AND) operam de um modo binário (0, 1); assim, pulsos externos indesejáveis podem afetar o status. Desde que o estado da lógica é determinado por um pulso (mudança no status do contato), os efeitos do *contact bounce* quando as chaves externas são ativadas devem ser minimizados. Isto pode ser eliminado garantindo que um pulso deve ser mantido por um tempo mínimo antes que seu estado seja reconhecido pelo circuito lógico.

Os módulos de entrada/saída podem ser isolados ou não isolados. Os módulos isolados requerem uma fonte de alimentação externa, cada um com seus fusíveis próprios, para acionar os componentes de entrada ou saída. Os módulos não isolados usam um barra ônibus comum, de modo que todos os componentes são alimentados da mesma fonte.

Os circuitos a estado sólido falham em segurança quando desenergizados, como os relés. Assim, no caso de falta de alimentação, as saídas lógicas retornam a lógica 0.

Os módulos de saída que são usados para acionar componentes de corrente alternada usam triacs como chaves de estado sólido, para abrir ou fechar circuitos eletronicamente. Estas unidades podem falhar em curto, i.e., com os contatos mantidos fechados. Se isso acontece, quando a lógica solicita que eles desliguem e desenergize o elemento final, eles podem falhar de faze-lo. Para evitar isso, pode ser necessário monitorizar a saída do módulo e usar a lógica interna para desligar a fonte externa, deste modo desenergizando efetivamente o elemento final de controle.

A confiabilidade é medida pelo Tempo Médio Entre Falhas (MTBF). Já foi determinado que, depois da mortalidade infantil (falhas prematuras) o MTBF dos circuitos a estado sólido muito maior que o MTBF dos relés eletromecânicos. Para diminuir a mortalidade infantil os componentes eletrônicos são submetidos a

tratamentos de queima (burn in) antes de serem usados. A vida útil dos relés (cerca de 20 000 ciclos) é afetada por sua freqüência de atuação.

Os circuitos a estado sólido requerem muito menor manutenção que os relés. A falha do componente é mínima quando não há partes mecânicas e os componentes são projetados de modo conservativo. Usam se dissipadores de calor e circuitos protetores de sobre-tensão. Por outro lado, os relés requerem muito mais manutenção, desde que as bobinas falham, os contatos oxidam e as molas perdem sua tensão. Em sistemas que são estáticos por longos períodos, os relés podem se tornar inoperantes. Deste modo, deve se usar relés redundantes para aumentar a confiabilidade.

Distribuição de potência

A falha de alimentação pode ser resultante da perda da alimentação na planta inteira, em painéis de distribuição ou no instrumento individual. Cada tipo de falha deve ser prevista para determinar o efeito no intertravamento do processo e do sistema.

A distribuição de alimentação do instrumento deve ser dividida de modo que a falta de energia no painel de distribuição inicialize um desligamento. Isto deve ser consistente com o conceito estabelecido anteriormente, onde todos os componentes devem desenergizar quando o trip do intertravamento é ativado. Quando um circuito de alimentação pode ser sobrecarregado devido ao número de componentes em um sistema de intertravamento, outro circuito deve ser usado. Neste caso, um meio de monitorar a fonte de alimentação para cada um dos dois circuitos deve ser fornecido, de modo que a falta de alimentação de qualquer um dos sistema irá tripar o outro, garantindo que o sistema total irá falhar em segurança.

As fontes de alimentação sem interrupção devem ser usadas para estes intertravamentos onde as falhas de alimentação que causam os trips indesejáveis sejam inaceitáveis. As fontes sem interrupção podem ser tão simples como uma reserva de bateria para circuitos e componentes selecionados ou, para cargas mais pesadas, como conjuntos complicados de motor/gerador com baterias flutuantes, inversores e chaves de transferência.

Adicionalmente, fontes de alimentação redundantes ou reserva de bateria devem ser consideradas para instrumentação eletrônica de controle de processo. A instrumentação eletrônica é usualmente alimentada por fontes que alimentam todas as malhas de controle. A falta de alimentação prejudica todas as malhas e portanto deve ser usada bateria de reserva, que será automaticamente selecionada quando houver falha na fonte principal.

Falhas do operador

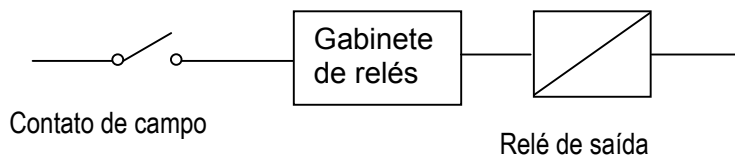
Os sistemas de desligamento automático não tiram a importância e necessidade da operação manual. A tarefa do operador de processo, nas condições normais de operação, é garantir principalmente que o processo esteja operando na condição econômica e segura.

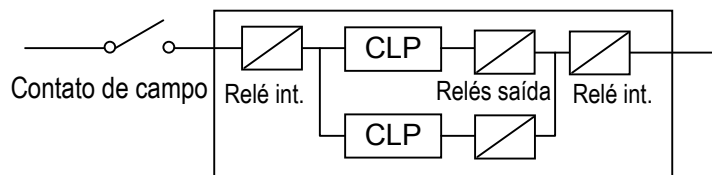
Porém, quando ocorre uma falha, há um grande grau de interação entre o operador e o sistema de instrumentação. Neste momento, o operador deve estar preparado para analisar a situação e decidir se deve ou não tomar uma ação. Mesmo quando há desligamentos automáticos no intertravamento, o operador deve ser informado do status da planta e dos distúrbios que podem ocorrer quando os intertravamentos são ativados.

O operador desempenha as seguintes tarefas quando acontece uma condição anormal:

1. detecção da falha,
2. identificação,
3. ação corretiva.

A instrumentação fornece a *janela* para o status do processo e relaciona os instrumentos e os equipamentos. Os operadores humanos tendem a ser flexíveis, mas são lentos, quando aparece uma emergência. O operador pode tomar vários tipos de ação que podem ser satisfatórias ou não, na ocorrência de uma anormalidade.

Sistema com relés

Causas de desligamento falso	Causas de falha para perigo
Falha do relé de entrada	Falha do relé de entrada
Falha da alimentação elétrica	Falhas do relé de saída
Falha do relé de lógica	Erro humano
Falha do relé de saída	Falha de relés de lógica
Falha de fusíveis	
Erro humano	

Sistema com CLP

Causas de desligamento falso	Causas de falha para perigo
Falha do relé interno	Falha dos 2 CLPs
Falha da fonte de 24 V cc	Falha de um CLP enquanto outro em teste ou fora
Falha de um CLP (hw ou sw)	Falha dos 2 relés de saída
Falha do relé de saída	Falhas do transistor de saída em certos casos (antes do teste)
Falha de fusíveis da fonte	Falha do contato do relé de saída
Erro humano	Erro humano
Queima do fusível interno	
Queima do transistor de saída	

Os intertravamentos são fiados fisicamente ou preprogramados de uma maneira fixa e tomarão um conjunto de ações acionadas por um conjunto predeterminado de condições; assim, eles são inflexíveis. Sua vantagem é a resposta mais rápida e a habilidade de repetir a mesma ação quando acontece um dado conjunto de condições.

É responsabilidade do projetista prover informação e dados de um modo significativo (layout do painel, tipo de displays, arranjo dos instrumentos, malha de alarme) para possibilitar ao operador a determinação do status da planta, de modo rápido e preciso.

Não há regras fixas e rápidas para projetar um intertravamento; as melhores regras que podem ser oferecidas somente servem como sugestão e devem ser aplicadas com discrição. O engenheiro que especifica as exigências e o projetista que as implementa devem manter um ponto de vista consistente. A interação de partes relacionadas do processo com relação a seus respectivos intertravamentos deve ser considerada no total, de acordo com a reação do operador, quem, depois de tudo, é o arbitro final na complexa cadeia de eventos.

A lei de Murphy se aplica como vingança quando as malhas de instrumentos violam o bom senso e as leis da física.

A lei de Murphy, de um modo simplista, diz que se alguma coisa pode acontecer de errado, ele irá acontecer de errado, e quando acontecer, ela será no pior momento possível e com as piores conseqüências possíveis.

Em uma planta de processo, se alguma coisa acontece errado em uma malha de controle, as conseqüências podem ser desastrosas: reatores, colunas, caldeiras e outras unidades do processo podem explodir, as máquinas podem superaquecer e se destruir por si e os operadores podem ser mortos.

5.10. Sistema de Falha Segura

Quem falha em planejar, planeja para falhar. Sempre é necessário identificar e analisar as falhas passadas para desenvolver um plano para evitar ou minimizar as falhas futuras ou para estabelecer uma plano que deve decidir primeiro que tipos e níveis de risco são aceitáveis ou inaceitáveis.

Um sistema é chamado de tolerante à falha quando tem a capacidade de operar de acordo com as especificações de projeto, mesmo quando ocorrem determinados tipos de falhas em sua estrutura interna ou no ambiente externo.

Projeto de sistema de shutdown

Há três razões para implementar um sistema de segurança altamente confiável:

1. salvaguardar vidas humanas próximas do processo
2. evitar poluição do ambiente
3. proteger investimento da instalação física contra interrupções custosas

No projeto de um sistema de alarme e desligamento, há dois conceitos distintos de segurança:

1. seguro em falha ou estado parado
2. operacional em falha ou estado de não parado.

No estado de seguro em falha, um sistema de segurança cai em uma condição segura predefinida (desenergizado para desligar) segundo uma falha. No estado de operacional em falha, um sistema de controle de seguranca contínua a executar suas funções de controle sem qualquer atraso (tempo real) em vista da falha do componente. Há ainda um terceiro estado que combina operacional em falha com seguro em falha, em que o processo total permanece energizado enquanto alguma sub-unidade do processo é desligada ou desenergizada.

Exemplo

Seja um sistema de controle de pressão, como mostrado na Fig. 15.28, com:

1. transmissor de pressão, PT
2. controlador de pressão, PIC
3. válvula de controle de pressão, PCV

O aumento da pressão causa aumento no sinal de saída do transmissor de pressão, que é enviada para o controlador de pressão. O controlador irá comparar o valor da medição com o ponto de ajuste e irá atuar na válvula para diminuir a pressão. Entre o controlador eletrônico e o atuador pneumático da válvula deve haver um transdutor corrente para ar comprimido, para compatibilizar as naturezas dos sinais.

Há uma chave de alarme de alta pressão (PSH) atuando em conjunto e superpondo a ação do controlador, no caso de falha da malha de controle de pressão. A condição de alta pressão abre a chave para desenergizar o solenóide e fechar a válvula.

O sistema é projetado para ser seguro no caso de falha, de modo que qualquer falha em algum componente dentro da malha irá causar a válvula de vazão fechar, evitando sobrepressão no vaso.

1. A válvula PCV tem ação ar para abrir ou segura fechada: em caso de falta de ar comprimido, ele fecha completamente.
2. A saída do PIC é inversa: quando a pressão do processo aumentar, sua saída diminui, fechando a válvula PCV e reduzindo a pressão.
3. A análise de falha segura da malha de controle é tal que, se a alimentação elétrica do PIC ou do PSH falhar, a válvula PCV irá fechar. Também, se a PCV falhar, ela irá fechar em virtude da ação da mola.
4. O contato de alarme do PSH abre em alta pressão, desenergizando o solenóide e abrindo para a atmosfera o atuador da válvula, fechando a válvula na falta de ar. Falha da alimentação do intertravamento também faz o sistema falhar em segurança.

Deste modo, a falha de qualquer componente da malha de alimentação ou perda do sinal de controle faz o sistema falhar em segurança.

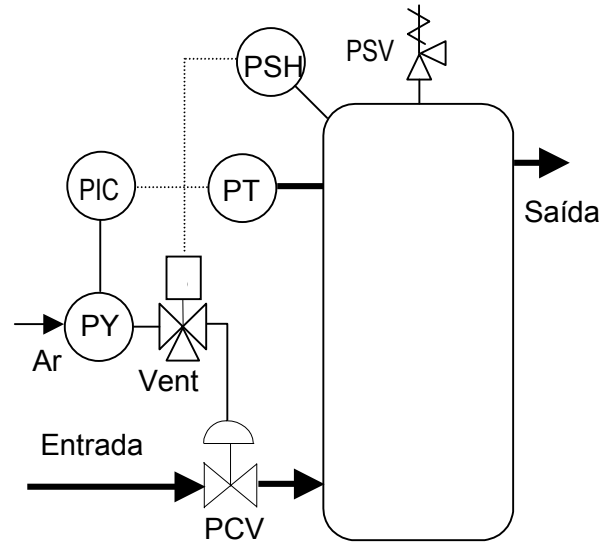



Fig. 15.28. Sistema de Controle de Pressão

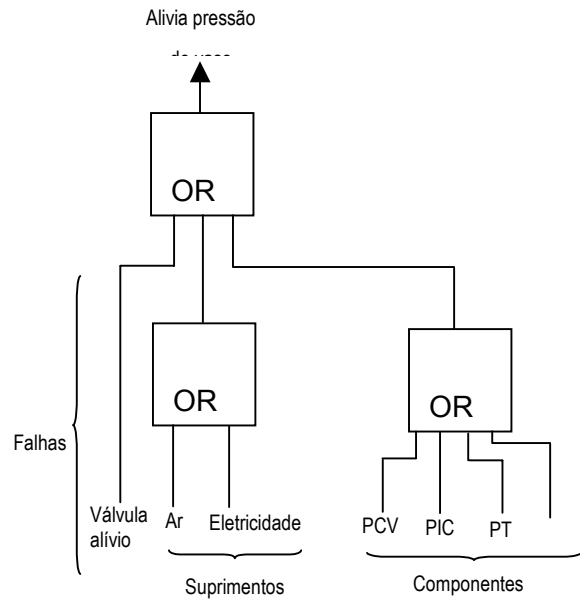



Fig. 15.29. Árvore da Análise de Falhas

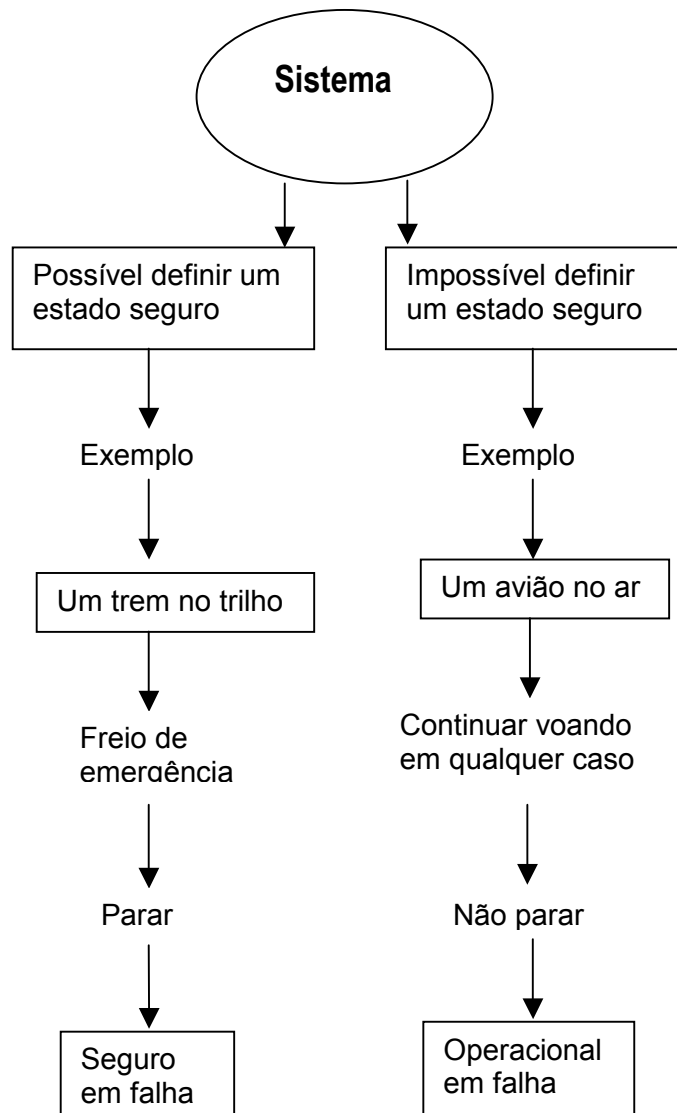



Fig. 15.27. Arvores de decisão da segurança

6. Alarme e Cores

6.1. Introdução

A cor é uma experiência psicológica e por isso a preferência por determinada cor é totalmente subjetiva. Assim, a seleção de cores para uma interface de controle e alarme e para os componentes em si deve ser feita por um especialista versado em cores e relações de respostas. A escolha de cores afeta a aparência, visibilidade e clareza do equipamento, bem como a segurança, velocidade, eficiência e moral do operador. Para longa permanência em um local, os esquemas de cores devem ser cuidadosamente coordenados com o ambiente, para a máxima eficiência. Relações compatíveis de cores evitam ofuscamento, aberração, desconforto para o operador. Certos pares de cores (geralmente azul e vermelho) parecem vibrar ou dançar quando vistas juntas.

A refletância e absorção seletivas da luz determinam a cor de um objeto. Em geral, cores claras são mais fáceis de ver porque elas não absorvem muito a luz ambiente como fazem as cores escuras. Através do controle da textura da superfície, pode-se aumentar o grau de refletividade e a fidelidade da cor e diminuir o luminosidade.

Não existem nada absoluto no uso de cores. Muitas fabricantes empregam sistemas de controle de cores elaborados para garantir resultados finais fieis e consistentes. Na análise final, o olho humano pode distinguir uma grande quantidade de diferentes matizes e é a melhor ferramenta para resolver as questões de fidelidade de cores.

6.2. Código de cores

O código de cores dos componentes da interface com o operador (lâmpadas, chaves, alarmes, letras gravadas) devem ser consistentes com fatores humanos e paradigmas aceitos. Algumas cores já possuem relações definidas. Por exemplo, no trânsito, é universal que

1. verde é para ir, prosseguir, continuar
2. amarelo é para esperar, ter cuidado, ter mais atenção
3. vermelho é para parar, não continuar.

Um código possível para combinações de estados em interface homem-máquina é:

Cor	Código
Vermelha	Incompatível ou condição perigosa. Requer ação corretiva. No-go, Erro, Falha, Parar, Dano, Estragado, Cuidado, Perigo.
Amarela	Existe condição marginal Proceder com cuidado, dupla verificação Pressão abaixo do nível normal Ver nível do tanque. Inspecionar abertura do vaso
Verde	Condição dentro da tolerância Operação normal Continuar, situação pronta, segura, ligado (*)
Branca	Condição ou situação que não tem implicação de certo – errado. Neutro.
Azul	Valor limitado como elemento codificado. Azul tem intensidade muito baixo e é pouco estimulante

O paradigma é usar a cor vermelha para desligado e verde para ligado. Porém, em eletricidade e casa de força, usa-se verde como desligado e vermelho como ligado (associado com a condição elétrica quente).

Em monitores é comum se ter a cor amarela, branca, laranja ou verde contrastada sobre um fundo preto. Qualquer cor da imagem é satisfatória, desde que não caia nos extremos do espectro. As cores vermelho e violeta (azul) devem ser evitadas em telas e placas gravadas, por serem menos percebidas pelo olho.

Cerca de 4% dos adultos, principalmente homens, pode confundir as cores, não distinguindo entre vermelho e amarelo ou entre azul e verde.

6.3. Transmissão e projeção de cores

A escolha das cores pode se relacionar com o seu uso: transmitido ou projetado.

A cor transmitida se refere o uso de lentes coloridas em aplicações onde a cor deve ser visível mesmo quando o display estiver apagado. Isto se aplica em botoeiras com lentes ou olho de boi e a janelas de anunciador de alarme.

A cor projetada é conseguida com uma lente branca e um filtro colorido sobre a lâmpada. Quando a lâmpada está apagada, o display é branco, ela fica colorida quando o display é iluminado. Displays de cores projetadas são efetivas em salas escuras ou com pouca luz, mas elas tem a desvantagem de diluir a luz em ambiente muito iluminado. Isto ocorre porque o sinal do display é de uma cor e a lente branca reflete uma grande quantidade da luz ambiente incidente que tende a enfraquecer a luz do sinal. Isto explica porque monitores de vídeo são difíceis de ver em ambiente com muita iluminação, como ao ar livre com a luz solar.

Outro parâmetro importante é a cor do segundo plano ou de *background*. O display deve aparecer preto (morto) quando a lâmpada estiver apagada. Quando iluminado, a cor e a legenda devem aparecer. O display com frente morta permite o controle por exceção, isto é, o display pode conter uma grande quantidade de informação potencial, porém, poucas informações são mostradas ao mesmo tempo. Quando não iluminado, o display não mostra nada. Esta técnica é usada para limitar os sinais enviados ao operador até que apareça na tela alguma condição especifica, que requeira a atenção e atuação do operador, reduzindo a probabilidade de erro do operador.

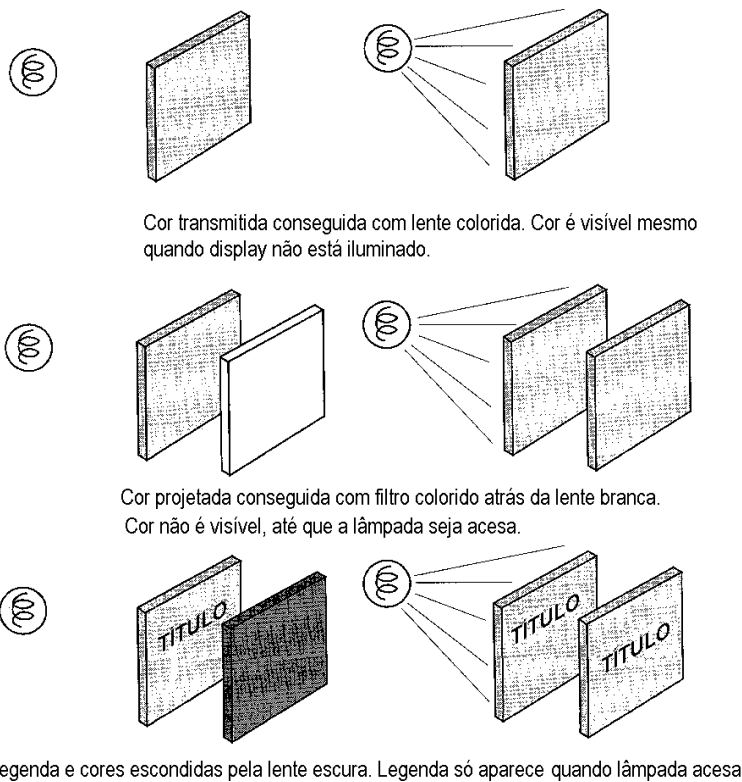



Fig.13.30. Display com cor transmitida, projetada e com frente morta.

16

Anunciador de Alarme

Objetivos

1. *Conceituar, mostrar as designações, seqüências, arranjos, componentes básicos e portas auxiliares do Anunciador de Alarme.*
2. *Mostrar outros sistemas de alarme e monitoração, como Registrador de Eventos, Monitor, e Alarmes com Computador.*

1. Conceito

O anunciador chama a atenção para mudanças nas condições de processo que ocorreram, através de displays visuais e dispositivos sonoros. O anunciador usualmente chama atenção para condições anormais do processo, mas pode também ser usado para mostrar as condições normais do processo e as condições anormais quando retornam ao normal. As mudanças de um estado de seqüência do anunciador são causadas por mudanças nas condições do processo e também por operação manual de botoeiras. O novo estado da seqüência pode depender da condição do processo que existe no momento que as botoeiras são operadas. As mudanças da condição do processo são usualmente sentidas por contatos de campo.

Quando as variáveis de operação (pressão, temperatura, nível, vazão, análise) assumem valores além dos limites predeterminados, o anunciador recebe um sinal de atuação e fornece um display visual e sonoro do alarme. O anunciador é dedicado à função específica de fornecer a capacidade de alarme, quando alguma coisa der errado no processo industrial ou requer a ação imediata do operador.

O anunciador é fundamental para um sistema de monitoração e alarme. A complexidade dos processos atuais requer que o operador seja alertado de qualquer mudança significativa nas condições do processo. A confiabilidade conseguida pela aplicação de microprocessadores nos circuitos do anunciador contribuiu para seu uso como uma poderosa ferramenta da operação.

O projeto das diferentes configurações do anunciador varia, dependendo do fabricante, do tipo da indústria usuária e da época. Os primeiros anunciadores usavam relés eletromecânicos. Atualmente, a tecnologia básica inclui o controlador lógico programável. Qualquer que seja a tecnologia, os anunciadores são normalmente projetados e construídos para haver facilidade em expansão futura e revisões periódicas, com o mínimo de tempo e custo.

Fig. 16.1. Pontos de alarme mostrados em tela de computador

2. História e Desenvolvimento

A literatura técnica de Instrumentação e Controle dedica pouco espaço aos sistemas de anunciadores de alarme. Isto não significa que eles sejam pouco usados, pois toda a planta possui, em diferentes graus de complexidade, um sistema de alarme.

Sistemas de alarmes simples são usados em hospitais, fábricas, supermercados e grandes áreas, onde as pessoas são chamadas, quando seus serviços são requisitados. Estes sistemas consistiam basicamente de plaquetas com nomes gravadas operadas por solenóides, que caiam pela ação da gravidade, quando o solenóide era desenergizada. As quedas eram agrupadas em um local central e eram energizadas pela atuação de chaves elétricas no local onde o serviço era requisitado. O sistema também incluía um sinal de áudio para soar o alarme.

Sistemas similares eram usados para alarme de fogo e furto. As quedas eram operadas por chaves manuais ou por contatos de problema que monitoravam as condições de temperatura e segurança em vários locais. O uso destes sistemas na indústria petroquímica foi um desenvolvimento lógico, quando a as chaves de monitoração necessárias se tornaram disponíveis.

Uma dificuldade adicional de usar estes sistemas de alarme na indústria de petróleo e petroquímica foi a exigências destes sistemas operarem com segurança em locais perigosos. O sistema simples com solenóide que caia só podia ser usado em local seguro.

Porém, apareceram sistemas cada vez mais compactos, flexíveis e confiáveis.

Na década de 1950, apareceram os anunciadores com relés tipo plug in. Os solenóides que caiam foram substituídas por relés miniaturizados, cujas saídas operavam lâmpadas de alarme e buzinas, quando ocorriam condições anormais no processo. As lâmpadas de alarme instaladas na frente do anunciador eram do tipo olho de boi ou colocadas atrás de placas gravadas translúcidas. Os anunciadores eram de tamanho compacto e se baseavam em circuitos eletrônicos confiáveis. Os módulos lógicos com relés hermeticamente selados podiam ser usados em certas áreas perigosas (Divisão 2, por exemplo), além das salas de controle seguras. A miniaturização dos instrumentos e o uso de painéis de controle gráfico iniciaram o desenvolvimento de sistemas remotos de anunciador, consistindo de um gabinete de relés montados remotamente para alarmar lâmpadas em pontos apropriados no diagrama gráfico ou semigráfico.

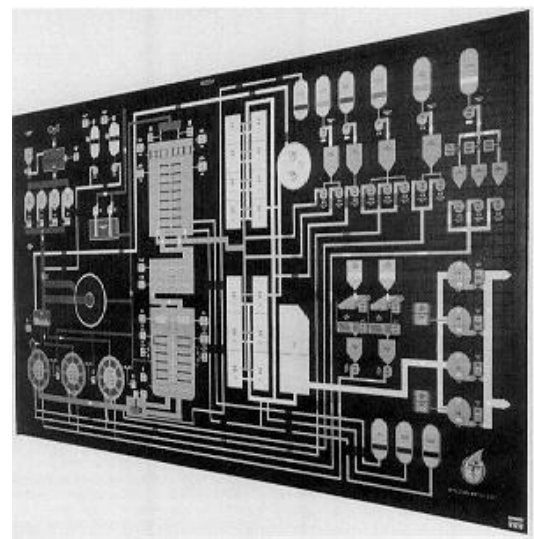



Fig. 14.2. Painel semigráfico de uma planta de tratamento de água

Os circuitos lógicos a semicondutor permitiram a diminuição do nível de energia consumida e do calor gerado. O painel semigráfico, compacto e flexível, foi desenvolvido na década de 1960. Os circuitos integrados aumentaram a confiabilidade e diminuíram os tamanhos dos componentes ainda mais. Atualmente, a tendência é usar alarmes baseados em microprocessadores e com interfaces com operador usando monitores TRC e com telas planas a cristal líquido.

Anunciadores tradicionais usavam módulos discretos de alarme para este objetivo. Estas unidades de equipamento dedicado estão diminuindo em número de aplicações e somente são usadas como unidades de reserva ou em

sistemas muito simples. Atualmente, os anunciadores estão sendo associados com sistemas com micro computadores interligados a Controladores Lógico Programáveis ou por Sistema de Controle Distribuído (também chamado de Sistema Digital de Controle Distribuído) que também possuem circuitos digitais apropriados para executar a lógica binária de alarme. O computador fornece a interface com operador (monitor para indicação do alarme, teclado para tomada de conhecimento e atuação no processo) e roda o programa aplicativo que suporta a lógica do sistema de alarme. O controlador lógico programável utiliza as interfaces I/O como interface com o processo. Em sistema de controle distribuído, a lógica é executada pelo sistema e a interface do operador é a estação de trabalho do sistema.

Nestes sistemas digitais, em que a interface com o operador é o monitor, o reconhecimento do alarme e a resposta às condições de alarme têm deteriorado, porque os alarmes são pouco visíveis e podem ficar escondidos e ocultos nas telas do monitor. Há uma quantidade muito grande de informação que deve ser mostrada em uma única tela, de tamanhos reduzidos.

É possível ligar anunciadores convencionais aos terminais frontais de um sistema de controle distribuído através de portas de comunicação RS 232C. Esta solução híbrida adiciona a visibilidade, confiabilidade e redundância embutida do anunciador dedicado à flexibilidade, conveniência de manter registros e poder lógico do sistema baseado no controle digital do SDCD ou CLP.

Projetos mais sofisticados de anunciador podem incorporar:

1. displays com barras gráficas (bargraph)
2. gráficos coloridos
3. registros de eventos
4. sistemas de aquisição de dados (data logger)
5. displays gráficos animados

3. Seqüências do Anunciador

A operação de um ponto individual de alarme nos estágios de normal, alerta, conhecimento e retorno ao normal é chamada de seqüência de anunciador. Podem ser desenvolvidas várias seqüências para atender as múltiplas aplicações dos usuários. A Tab. 14.1. mostra as seqüências projetadas pela ISA, na norma S18.1 (1985).

A seqüência de alerta do retorno (ringback) fornece uma informação adicional anunciando que uma condição previamente anormal voltou ao normal. Uma variação da freqüência do piscamento ou cor da lâmpada pode ser usada

para identificar

este passo. Seqüências de alto-baixo (high-low) fornecem uma indicação que o ponto anormal está baixo ou acima do ponto de medição. Os nomes das plaquetas estão mostrados corretamente para indicar o ponto anormal. Uma terceira indicação pode também ser incorporada para mostrar uma condição normal.

São disponíveis várias seqüências fornecidas por diversos fabricantes. A seleção da seqüência desejada depende de vários fatores. Na maioria dos casos, a seqüência é determinada pelo usuário.

Uma seqüência típica seria:

1. O contato sensor fica anormal.
   a) A buzina soa
   b) A lâmpada da plaqueta acende.
2. O operador responde, apertando a chave de **Conhecimento**, que silencia a buzina. A plaqueta contínua acesa.
3. O operador atua no processo, retornando-o para a condição normal.
4. Os contatos sensores da condição retornam ao normal e a lâmpada se apaga e o ponto está pronto para realarmar.
5. O operador aperta o botão **Reset**, para rearmar o sistema de alarme.

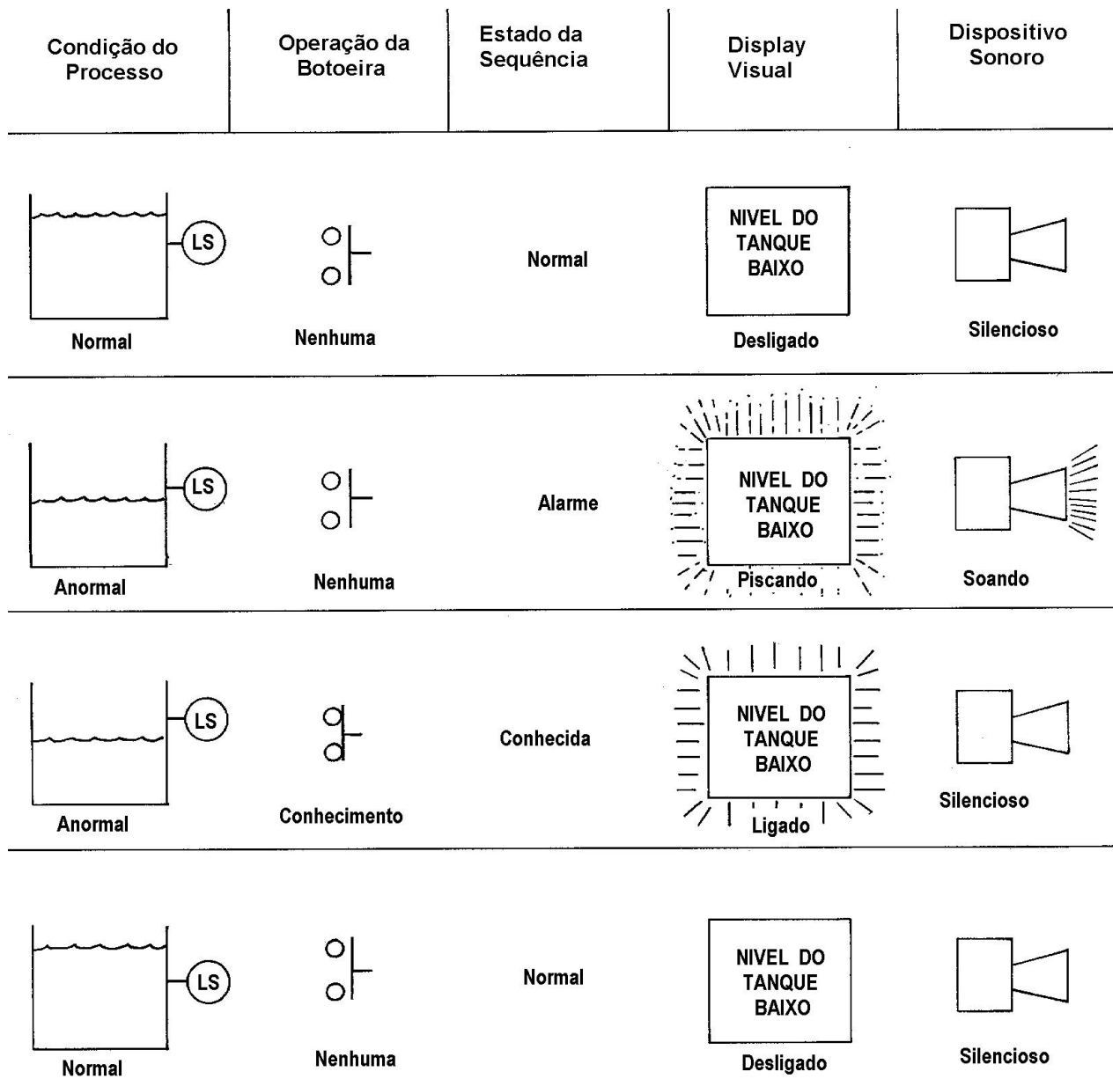



Fig. 14.3. . Seqüência típica de Anunciador, Seqüência A, Reset Automático

Tab. 14.1. Seqüências comuns (Fonte: Instrument Society of America, Norma ISA 18.1, 1965 – Ver Revisão de 1985)

Seqüência	Sinais	Normal	Alerta	Sensor de condição Retorno ao normal Antes do Conhecimento	Conhecimento Reset	Sensor de condição Retorna ao normal	Retorno ao normal Reset	Observações
ISA-1	Visual Sonoro	Off Off	Flash On	Flash On	On Off	Off Off	- -	Memória Flasher
ISA -1A	Visual Sonoro	Off Off	On On	On On	On Off	Off Off	- -	Memória
ISA – 1B	Visual Sonoro	Off Off	Flash On	Off Off	On Off	Off Off	- -	Flasher
ISA – 1C	Visual Sonoro	Off Off	On On	Off Off	On Off	Off Off	- -	
ISA – 1D	Visual Sonoro	Dim Off	Flash On	Flash On	On Off	Dim Off	- -	Memória – Flasher – teste contínuo da lâmpada
ISA – 1E	Visual 1 Visual 2 Sonoro	Dim On Off	On On On	Dim On Off	Off On Off	Dim On Off	- -	Teste contínuo lâmpada – indicação normal
ISA – 1F	Visual 1 Visual 2 Sonoro	Dim Dim Off	On On On	On On On	Off On Off	Dim Dim Off	- -	Memória – (indicação de silencio do alarme) – teste contínuo da lâmpada
ISA – 2	Visual 1 Visual 2 Sonoro	Off Off Off	Flash Off On	Flash Off On	On Off Off	Off Flash On	Off Off Off	Memória – Flasher – retorno alerta (distinção de lâmpada)
ISA – 2A	Visual Sonoro	Off Off	Flash On	Flash On	On Off	Dim – Flash On	Off Off	Memória – Flasher – retorno alerta (distinção de lâmpada)
ISA – 2B	Visual Sonoro 1 Sonoro 2	Off Off Off	Flash On Off	Flash On Off	On Off Off	Flash Off On	Off Off Off	Memória – Flasher – retorno alerta (distinção de som)
ISA – 2C	Visual Sonoro	Off Off	Flash On	Flash On	On Off	On Off	Off Off	Memória – Flasher – retorno alerta
ISA – 2D	Visual Sonoro	Off Off	On On	On On	On Off	On Off	Off Off	Memória – Retorno alerta

Continua

Tab. 14.1. Seqüências comuns (: Instrument Society of America, ISA 18.1, 1965 – Ver Revisão de 1985). (continuação)

Seqüência	Sinais	Normal	Alerta		Sensor de condição Retorno ao normal Antes do Conhecimento		Conhecimento Reset		Sensor de condição Retorno ao normal		Retorno ao normal Reset	Observações
ISA – 3	Visual H	Off	Off	Flash	Off	Flash	Off	On	Off		-	Alto-Baixo –
	Visual N	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On		-	Memória – Flasher
	Visual L	Off	Flash	Off	Flash	Off	On	Off	Off		-	
	Sonoro	Off	On	On	On	On	Off	Off	Off		-	
ISA – 3A	Visual H	Off	Off	Flash	Off		Off	On	Off		-	Alto-Baixo –
	Visual N	On	Off	Off	On		Off	Off	On		-	Flasher
	Visual L	Off	Flash	Off	Off		On	Off	Off		-	
	Sonoro	Off	On	On	Off		Off	Off	Off		-	
ISA – 3B	Visual H	Off	Off	Flash	Off		Off	On	Off		-	Iguala ISA – 3A,
	Visual N	On	Off	Off	On		Off	Off	On		-	exceto sem alarme
	Visual L	Off	Flash	Off	Off		On	Off	Off		-	sonoro
ISA – 4	Visual 1	Off	Flash	Off	Flash	Off	On	Off	On	Off	Off	Seqüência –
	Visual 2	Off	Off	Flash	Off	Flash	Off	On	Off	Off	Off	Flasher – Memória
	Sonoro	Off	On	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	(indicação com 2 cores). *Se reset é operado, pode-se começar uma nova seqüência usando visual 1 e 2 no estado flashing.
ISA – 4A	Visual	Off	Flash	On		Off	On	On	Off		-	Seqüência – Limpa.
	Sonoro	Off	On	Off	On	Off	*Off	Off	Off		-	* Depois do conhecimento, o próximo ponto a alertar irá piscar

Tab. 14.2. Seqüências de Sistemas de Anunciador

Tipos de Seqüência		Condições					
Nº	Descrição	Saídas	Normal	Alerta	Conhecimento	Recuperação	Reset
1	Não piscamento Reset automático	Visível Sonora	Off Off	On On	On Off	Off Off	
2	Não piscamento Reset manual	Visível Sonora	Off Off	On On	On Off	On Off	Off Off
3	Piscamento Reset automático	Visível Sonora	Off Off	Flash On	On Off	Off Off	
4	Piscamento Reset manual	Visível Sonora	Off Off	Flash On	On Off	On Off	Off Off
5	Piscamento first out Reset automático	1ª. visível Visíveis Sonora	Off Off Off	Flash On On	On On Off	Off Off Off	
6	Piscamento first out Reset manual	1ª. visível Visíveis Sonora	Off Off Off	Flash On On	On On Off	On On Off	Off Off Off
7	Piscamento Ring back Reset manual	Visível Sonora	Off Off	Flash On	On Off	Lento Flash On	Off Off

Tab. 14.3. Conversão de Designação de Seqüência

ISA RP 18.1 (1965) Seqüências	**ISA S18.1 (1984)** Designações
ISA-1	A
ISA-1A	A-5
ISA-1B	A-4
ISA-1C	A-4-5
ISA-1D	A-13
ISA-1E	Especial (1)
ISA-1F	Especial (1)
ISA-2	Especial (1)
ISA-2A	R-8
ISA-2B	R-11
ISA-2C	M
ISA-2D	M-5
ISA-3	Especial (2)
ISA-3A	Especial (2)
ISA-3B	Especial (2)
ISA-4	Especial (2)
ISA-4A	F1A

(1) Requer dois dispositivos de indicação de display visual
(2) Requer três dispositivos de indicação de display visual

Tab. 14.4. Seqüências de anunciador mais usadas

Código ISA	Condição do Anunciador	Condição da Variável	Indicador visual	Indicador sonoro	% de uso
1B	Normal Alerta Conhecimento De novo normal Teste	Normal Anormal Anormal Normal Normal	Desligado Piscando Ligado Desligado Ligado	Desligado Ligado Desligado Desligado Desligado	55
1D	Normal Alerta Conhecimento De novo normal	Normal Anormal Anormal Normal	Dim Piscando Ligado Dim	Desligado Ligado Desligado Desligado	1
2A	Normal Alerta Conhecimento De novo normal Reset Teste	Normal Anormal Anormal Normal Normal Normal	Desligado Piscando Ligado Dim piscando Desligado Ligado	Desligado Ligado Desligado Ligado Desligado Desligado	4
2C	Normal Alerta Conhecimento De novo normal Reset Teste	Normal Anormal Anormal Normal Normal Normal	Desligado Piscando Ligado Ligado Desligado Ligado	Desligado Ligado Desligado Desligado Desligado Desligado	5
4A	Normal Alerta Inicial Subseqüente Conhecimento Inicial subseqüente De novo normal Teste	Normal Anormal Anormal Normal Normal	Desligado Piscando Ligado Ligado Ligado Desligado Ligado	Desligado Ligado Desligado Desligado Desligado Desligado Desligado	28
Todas as outras					7

Seqüências e normas

As funções, seqüências, terminologia, especificações e documentação do anunciador estão definidas em norma escrita publicada pela ISA, International Society for Measurement and Control, ex- Instrument Society of America, inicialmente na Tentativa de Pratica Recomendada ISA-RP 18.1, *Specifications and Guides for the Use of General Purpose Annunciators*, 1965. A norma foi revista pelo Comitê SP18 em 1979, como ISA S18.1. A norma foi revista e confirmada em 1985 e em 1992.

4. Designação da Seqüência

As seqüências são designadas por um conjunto de letras e números com significados mnemônicos.

As tabelas de seqüência do anunciador descrevem a operação dos anunciadores mas geralmente não indicam claramente todos os aspectos da seqüência. Exemplos incluem falha para indicar as ações e estados de seqüência quando as condições de processo retornam ao anormal antes do reset do anunciador e também quando as botoeiras são operadas fora da seqüência normal.

Diagramas de seqüência incluem um bloco para cada estado de seqüência do anunciador. A condição do processo, o estado da seqüência e as condições do display visual e do dispositivo audível quando neste estado são indicadas em cada bloco. Os blocos são arranjados para descrever a seqüência do anunciador do estado normal, através de outros estados de seqüência e de volta para o estado normal. Setas entre os blocos indicam todas as possíveis ações da seqüência que podem causar uma mudança de um estado de seqüência a outro. Ações de seqüência incluem mudanças no estado do processo e operação manual de botoeiras.

As tabelas de seqüência incluem uma linha para o estado normal inicial e também uma linha para cada possível ação de seqüência que possa causar uma mudanças de um estado de seqüência para outro. Os números das linhas de referência nas tabelas são identificados por sufixos A e B quando o novo estado da seqüência depende da condição de processo que existe no momento em que a botoeira é apertada. Referências para outras linhas na tabela são usadas para evitar que a indicação de cada estado da seqüência e as condições associadas do display visual e do dispositivo audível seja repetida.

Quando os anunciadores requerem saídas auxiliares, a operação de saída deve ser adicionada aos diagramas e tabelas de seqüência ou a operação deve ser definida por notas. A operação de saídas auxiliares durante o teste do anunciador também deve ser definida.

Nenhuma seqüência é considerada padrão, embora algumas sejam mais usadas que outras.

4.1. Letra de Seqüência Básica

Três tipos básicos de seqüência de anunciador são usados comumente. A operação de cada tipo é diferente depois que a condição de processo retorna ao normal. Esta norma usa os três tipos básicos mostrados na Tab. 14.5:

Tab. 14.5. Letras da seqüência básica

Letra	Palavra chave	Descrição
A	Rearme automático	A seqüência retorna ao estado normal automaticamente depois do conhecimento quando a condição de processo retorna ao normal.
B	Rearme manual	A seqüência retorna ao estado normal automaticamente depois do conhecimento quando a condição de processo retorna ao normal e o botão de rearme é apertado.
C	Ringback	A seqüência fornece indicações visuais e audíveis distintas quando a condição do processo retorna ao normal. A seqüência retorna ao normal depois do conhecimento quando a condição de processo retorna ao normal e o botão de rearme é apertado.

4.2. Designação do número de opção

Os números de opção podem ser usados com as designações das letras de seqüência básicas para definir muitas variações diferentes de seqüência. Esta norma usa os números de opções para designar muitas variações comuns de seqüência mostrados na Tab. 14.6:

Tab.14.6. Designação do número de opção

Nº	Palavra chave	Descrição
1	Botoeira de silêncio	Uma botoeira separada é adicionada para permitir silenciar o alarme audível sem afetar o display visual
2	Interlock de silencio	Um interlock é adicionado para requerer operação da botoeira de silêncio antes que os alarmes sejam conhecidos.
3	Interlock de First out	Um interlock é adicionado para requerer operação da botoeira de silêncio antes que os alarmes de first out sejam rearmados pelo botão de rearme de first out.
4	Sem lock in	A característica de lock in é apagada. Alarmes momentâneos retornam ao estado normal sem operação do botão de conhecimento
5	Sem Piscamento	A característica de piscamento do display visual é apagada. Novos alarmes tem a mesma indicação do display visual quando os alarmes são conhecidos.
6	Sem audível	O dispositivo audível é apagado
7	Silêncio do alarme automático	Um temporizador é adicionado para silenciar o alarme audível depois de um intervalo de tempo determinado sem afetar o display visual
8	Ringback audível comum	Um dispositivo audível comum é usado para chamar atenção para os estados de alarme e de ringback
9	Silêncio do ringback automático	Um temporizador é adicionado para silenciar o dispositivo audível de ringback depois de um intervalo determinado sem afetar o display visual
10	Sem ringback audível	O dispositivo audível de ringback é apagado
11	Visual de ringback comum	Um tipo comum de piscamento é usado para indicar os estados de alarme e de ringback
12	Ringback momentâneo automático	Alarmes momentâneos de seqüência de ringback vão para o estado de seqüência do ringback sem operação do botão de conhecimento
13	Monitor de lâmpada dim	A indicação do display visual é dim no estado normal da seqüência para revelar falha da lâmpada
14	Teste de lâmpada	Operação do botão de teste opera somente o display visual

4.3. First out

O anunciador de *first out* é usado para indicar que ponto ou grupo de pontos de alarme operou primeiro. Para conseguir isto, a indicação do display visual para o ponto de alarme que operou primeiro deve ser diferente dos outros pontos de alarme subseqüentes do grupo. Somente pode existir uma indicação de alarme de *first out* em qualquer grupo de *first out.*

Tab. 14.7. Letras para alarmes first out

Letra	Palavra chave	Descrição
F1	Sem alarme dos pontos subseqüentes	Os alarmes subseqüentes aparecem no estado de conhecimento. Os displays visuais subseqüentes não piscam. O equipamento audível não opera quando ocorrem os alarmes subseqüentes, a não ser que ainda estejam operando do primeiro alarme. A indicação de first out é rearmada pelo botão de conhecimento
F2	Sem alarme subseqüente piscando	Os displays visuais subseqüentes não piscam. O equipamento audível opera quando os alarmes subseqüentes ocorrem. A indicação de first out é rearmada pelo botão de conhecimento
F3	First out pisca e botão rearma	Tipos adicionais de piscamento são adicionados para identificar o novo e os primeiros alarmes conhecidos. É adicionado também um botão de rearme de first out para rearmar a indicação, se a condição do processo retornar ao normal ou não

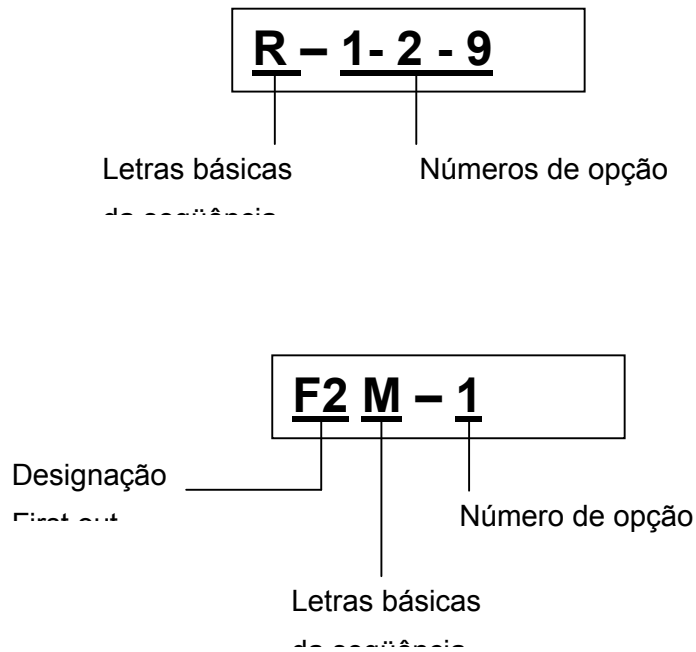
Há três métodos para diferenciar entre o primeiro ponto de alarme e os pontos subseqüentes. Dois usam as características usuais para o primeiro ponto de alarme e apagam as características para os alarmes subseqüentes. O terceiro fornece características adicionais para indicar o alarme do primeiro ponto.

As seqüências de *first out* podem ser rearmadas de modo automático ou manual ou podem fornecer indicação de ringback quando os alarmes retornam ao normal. As seqüências de *first out* são designadas por uma combinação de designação de *first out*, a designação de letra básica e números de opção.

Os diagramas de seqüências de first out consistem de uma malha externa de ações e estados associada com o alarme de first out e uma malha interna associada com os alarmes subseqüentes. As duas malhas tem um estado normal comum.

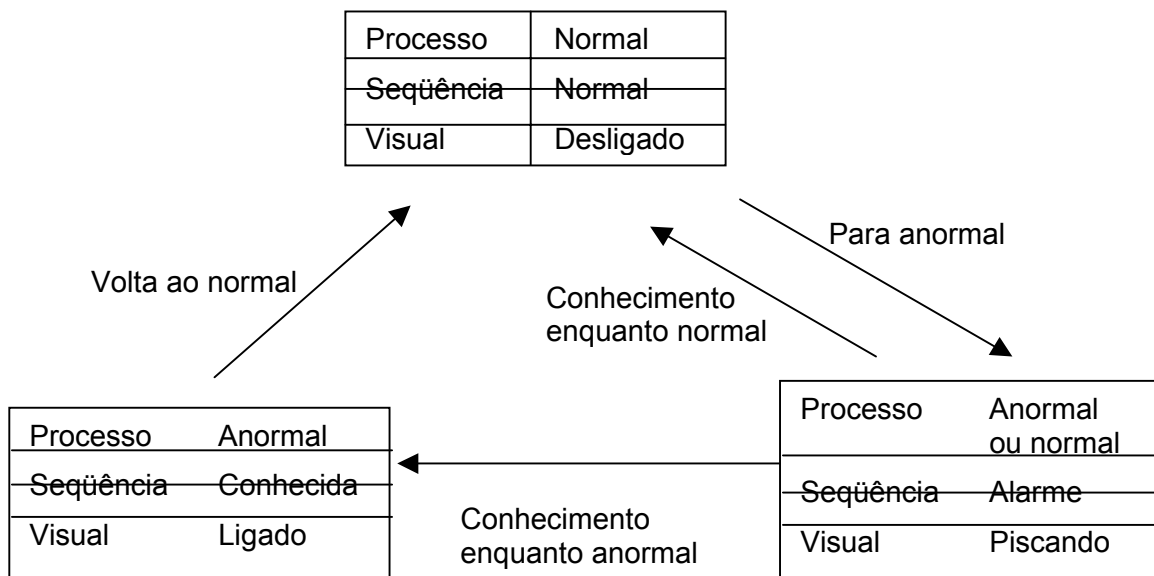
Nem todas as seqüências possíveis de first out são já disponíveis. Em alguns casos, uma seqüência particular de first out pode ter um projeto padrão para um único fabricante. As designações de seqüência para uma faixa de seqüências de first out estão listadas abaixo.

Tab. 14. 8. Designações para faixas de seqüências first out

Palavras chave	Rearme automático	Rearme manual	Ringback
Sem estado de alarme subseqüente	F1A (comum)	F1M	F1R
Sem estado de alarme subseqüente e botão de silêncio	F1A-A (comum)	F1M-1	F1R-1
Sem piscamento do alarme subseqüente	F2A (comum)	F2M	F2R
Sem piscamento do alarme subseqüente botão de silencio	F2A-1	F2M-1	F2R-1
Piscamento de first out e botão de rearme	F3A (comum)	F3M	F3R

Letra básica da seqüência	Palavra chave
A	Reset automático
M	Reset manual
R	Ringback

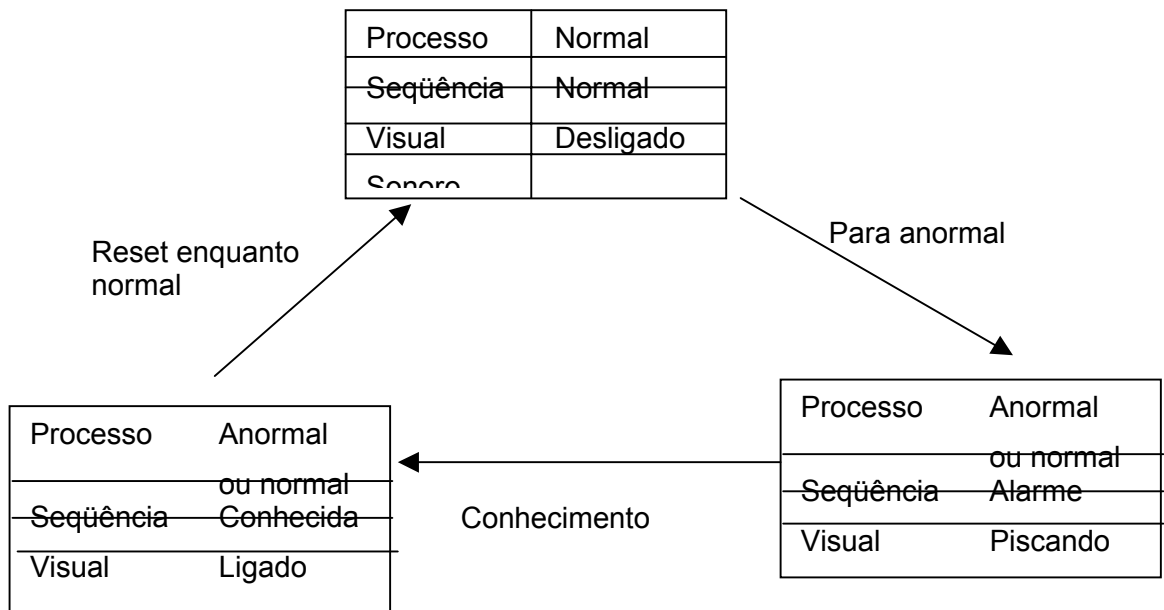
Designação First out	Palavra chave
F1	Sem estado de alarme subsequente
F2	Sem piscamento de alarme subsequente

Opção	Palavra chave
1	Botoeira de silêncio
2	Intertravamento de silêncio
3	Intertravamento de reset first out
4	Sem lock-in
5	Sem piscamento
6	Sem sinal sonoro
7	Silêncio do alarme automático
8	Som ringback comum
9	Silêncio ringback automático
10	Sem ringback sonoro
11	Visual ringback comum
12	Ringback momentâneo automático

Fig. 16.4. . Designações de Seqüências de Alarme

Linha	Condição do Processo	Operação da Botoeira	Estado da Seqüência	Display visual	Dispositivo sonoro	Notas
1	Normal	-	Normal	Desligado	Silencioso	
2	Anormal	-	Alarme	Piscando	Soando	Lock in
3A	Anormal	Conhecimento	Conhecida	Ligado	Silencioso	Alarme mantido
3B	Normal		Para linha 4			Alarme momentâneo
4	Normal	-	Normal	Desligado	Silencioso	Reset automático

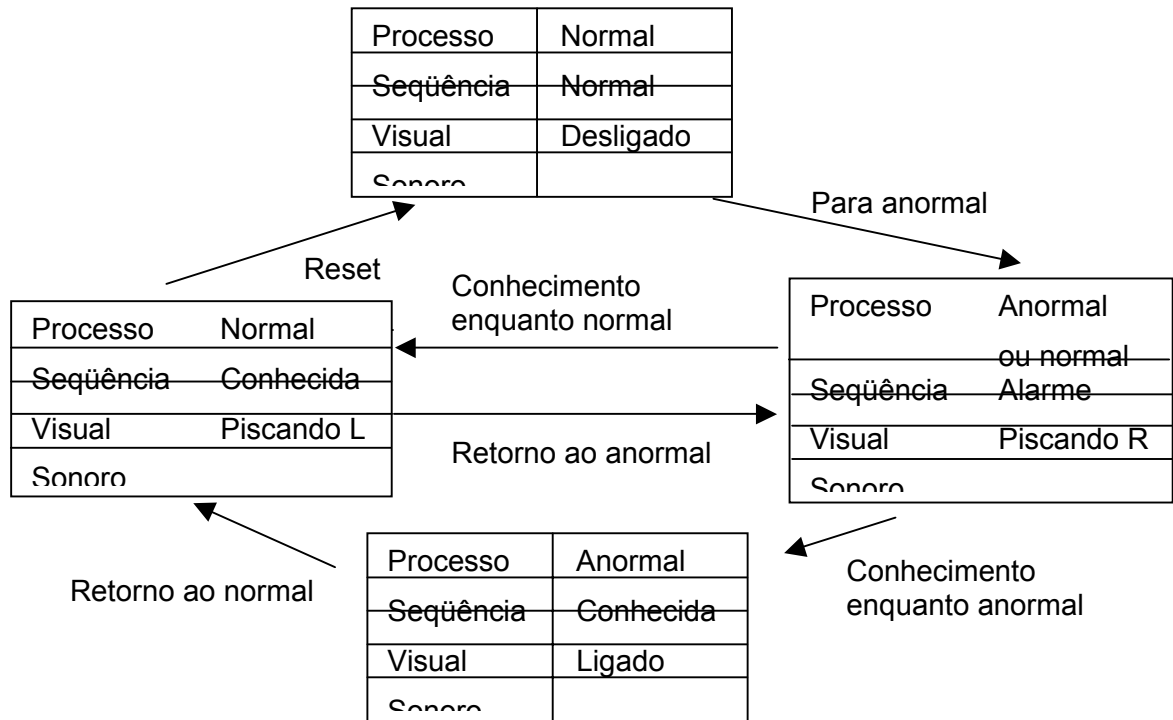
Características da Seqüência A, Reset Automático

1. Botoeiras de Conhecimento e Teste
2. Dispositivo sonoro de alarme
3. Memória (lock-in) dos alarmes momentâneos até serem conhecidos
4. Dispositivo sonoro é silenciado e para o piscamento quando conhecido
5. Reset automático de indicações do alarme conhecido após condição voltar ao normal
6. Teste operacional.

Fig. 16.5. . Seqüência A, Reset automático

<table>
<tr><th>Linha</th><th>Condição do Processo</th><th>Operação da Botoeira</th><th>Estado da Seqüência</th><th>Display visual</th><th>Dispositivo sonoro</th><th>Notas</th></tr>
<tr><td>1</td><td>Normal</td><td>-</td><td>Normal</td><td>Desligado</td><td>Silencioso</td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td>Anormal</td><td>-</td><td>Alarme</td><td>Piscando</td><td>Soando</td><td>Lock in</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Anormal ou normal</td><td>Conhecimento</td><td>Conhecida</td><td>Ligado</td><td>Silencioso</td><td>Requerido reset manual Alarme mantido</td></tr>
<tr><td>4A</td><td>Anormal</td><td rowspan="2">Reset</td><td colspan="3">Para linha 3</td><td></td></tr>
<tr><td>4B</td><td>Normal</td><td>Normal</td><td>Desligado</td><td>Silencioso</td><td>Reset manual</td></tr>
</table>

Características da Seqüência M, Reset Manual

1. Botoeiras de Conhecimento, Reset e Teste
2. Dispositivo sonoro de alarme
3. Memória (lock-in) dos alarmes momentâneos até serem conhecidos
4. Dispositivo sonoro é silenciado e pára o piscamento quando conhecido
5. Reset manual de indicações do alarme conhecido após condição voltar ao normal
6. Teste operacional.

Fig. 16.6. Seqüência M, Reset Manual

Linha	Condição Processo	Operação da Botoeira	Estado da Seqüência	Display visual	Dispositivo sonoro	Sonoro Ringback	Notas
1	Normal	-	Normal	Desligado	Silencioso	Silencioso	
2	Anormal	-	Alarme	Piscando R	Soando	Silencioso	Lock in
3A	Anormal	Conheci-mento	Conhecida	Ligado	Silencioso	Silencioso	Alarme mantido
3B	Normal		Para linha 4				Alarme momentâneo
4	Normal	-	Ringback	Desligado	Silencioso	Soando	Requerido reset manual
5	Anormal						Retorno ao normal
6	Normal	Reset	Normal	Desligado	Silencioso	Silencioso	Reset manual

Características da Seqüência R, Ringback

1. Botoeiras de Conhecimento, Reset e Teste
2. Dispositivo sonoro de alarme e ringback
3. Memória (lock-in) dos alarmes momentâneos até serem conhecidos
4. Dispositivo sonoro é silenciado e pára o piscamento rápido quando conhecido
5. Ringback visual e sonoro operam quando as condições do processo voltam ao normal.
6. Reset manual das indicações de ringback.
7. Teste operacional.

Fig. 16.7. Seqüência R, Ringback

Linha	Condição Processo	Operação da Botoeira	Estado da Seqüência	Display visual	Dispositivo sonoro	Sonoro Ringback	Notas
1	Normal	-	Normal	Desligado	Silencioso	Silencioso	
2	Anormal	-	Alarme	Piscando R	Soando	Silencioso	Lock in
3	Anormal ou normal	Silencioso	Silenciado	Piscando R	Silencioso	Silencioso	Lock in
4A	Anormal	Conheci-	Conhecida	Ligado	Silencioso	Silencioso	Alarme mantido
4B	Normal	mento	Para linha 4				Alarme momentâneo
6	Normal	-	Ringback	Piscando L	Silencioso	Sonoro temporizado	Requerido reset manual
6	Anormal		Para a linha 2				Retorno ao normal
7	Normal	Reset	Normal	Desligado	Silencioso	Silencioso	Reset manual

Características da Seqüência R-1-2-9, Ringback com opções

1. Botoeiras de Conhecimento, Reset e Teste
2. Dispositivo sonoro de alarme e ringback
3. Memória (lock-in) dos alarmes momentâneos até serem conhecidos
4. Opção 1. Botoeira de Silêncio para calar o sinal sonoro, enquanto retendo o piscamento rápido.
5. Opção 2. Intertravamento do Silêncio requer operação do botão de Silêncio antes do botão conhecimento.
6. Ringback visual e sonoro operam quando as condições do processo voltam ao normal.
7. Opção 9: Silêncio do Ringback automático para silenciar o alarme sonoro de ringback depois de um tempo determinado (T).
8. Reset manual das indicações de ringback.
9. Teste operacional.

Fig.14.8. Seqüência R-1-2-9, Ringback com opções

Linha	Condição do Processo		Operação da botoeira	Estado da Seqüência	Display visual	Dispositivo sonoro	Notas
1	Normal		-	Normal	Desligado	Silencioso	
2	Primeiro	Anormal		1º alarme	Piscando	Soando	Lock-in
3	Subseq			Conhecido	Ligado	Silencioso	Sem Lock-in
4A	Primeiro	Anormal	Conhecimento	Para a linha 3			Alarme mantido Reset first out
4B		Normal		Para a linha 5			Alarme moment. Reset first out
5	Normal		-	Normal	Desligado	Silencioso	Reset automático

Características da Seqüência F1A, First Out Reset Automático sem Estado do alarme subseqüente

1. Botoeiras de Conhecimento e Teste
2. Dispositivo sonoro de alarme
3. Memória (lock-in) dos alarmes momentâneos até serem conhecidos. Sem memória para alarmes momentâneos subseqüentes.
4. Indicações piscantes e sonora somente para o primeiro alarme. Alarmes novos subseqüentes vão para o estado conhecido.
5. Indicação First Out é resetada e o dispositivo sonoro é desligado, quando conhecido.
6. Reset automático das indicações de alarme conhecidas, quando as condições de processo voltam ao normal
7. Teste operacional.

Fig. 16.9. Seqüência F1A, First Out com Reset Automático sem estado de alarme subseqüente.

Linha	Condição do Processo		Operação da botoeira	Estado da Seqüência	Display visual	Dispositivo sonoro	Notas
1	Normal		-	Normal	Desligado	Silencioso	
2	Primeiro	Anormal		1º alarme	Piscando	Soando	Lock-in
3	Subseq	Anormal		Alarme sub	Ligado	Soando	Lock-in
4	Primeiro	Anormal ou normal	Conhecimento antes de silenciar	Para a linha 7			Reset first out
5	Subseq	Anormal ou normal					
6	Primeiro	Anormal ou normal	Silencioso	1º silenciado	Piscando	Silencioso	
7	Subseq	Anormal ou normal		Conhecido	Ligado	Silencioso	Reset manual requerido
8	Primeiro	Anormal ou normal	Conhecido após silenciado	Para a linha 7			Reset first out
9	Normal		Reset	Normal	Desligado	Silencioso	Reset manual

Características da Seqüência F2M-1

1. Botoeiras de Silenciar, Conhecimento, Reset e Teste
2. Dispositivo sonoro de alarme
3. Memória (lock-in) dos alarmes momentâneos até serem conhecidos
4. Botão de silenciar desliga dispositivo sonoro retendo a indicação de piscamento do first out.
5. Indicação piscando somente para o primeiro alarme. Alarmes novos subseqüentes tem a mesma indicação visual que os alarmes conhecidos.
6. Indicação de first out é resetada quando conhecida.
7. Reset manual das indicações conhecidas de alarme após as condições voltarem ao normal
8. Teste operacional.

Fig. 16.10. Seqüência F2M1, First Out com Reset Manual sem alarme piscante subseqüente e botão de silêncio
.

Linha	Condição do Processo		Operação da botoeira	Estado da Seqüência	Display visual	Dispositivo sonoro	Notas
1	Normal		-	Normal	Desligado	Silencioso	
2	Primeiro	Anormal		1° alarme	Piscando	Soando	Lock-in
3	Subseq			Alarme subseq	Piscando Rápido	Soando	Lock-in
4	Primeiro	Anormal ou normal	Reset first out antes do conhecimento	Para a linha 3			Reset first out
5	Primeiro	Anormal ou normal	Conhecimento	1° conhecido	Piscando lento	Silencioso	Requerido reset do first out
6A	Subseq	Anormal		Sub. conhecido	Ligado	Silencioso	Alarme mantido
6B		Normal		Para a linha 8			Alarme momentâneo
7A	Primeiro	Anormal	Reset first out depois do conhecimento	Para a linha 6A			Reset first out
7B		Normal		Para a linha 8			Reset first out
8	Normal			Normal	Desligado	Silencioso	Reset automático

Características da seqüência F3A

7. Botoeiras de Conhecimento, Reset e Teste
8. Dispositivo sonoro de alarme
9. Memória (lock-in) dos alarmes momentâneos até serem conhecidos
10. Dispositivo sonoro é silenciado e pára o piscamento quando conhecido
11. Reset manual de indicações do alarme conhecido após condição voltar ao normal
12. Teste operacional.

Fig. 16.11. Seqüência F3A, First Out com Reset Automático First Out Piscante e Botão de Reset.

5. Descrição da Seqüência

5.1. Seqüência A, Reset Automático

A seqüência **A** (ex-ISA 1, 1965) é uma seqüência básica de anunciador como reset automático, que retorna automaticamente os alarmes conhecidos para o normal, quando as condições monitoradas do processo também voltam ao normal.

A seqüência **A-4** (ex ISA 1B, 1965) também chamada de seqüência A piscante, é a mais usada (55%). A condição de alerta de um ponto de alarme resulta em uma indicação visual piscante e um sinal sonoro. A indicação visual desliga automaticamente quando a variável monitorada do processo retorna ao normal.

A seqüência **A-13** (ex-ISA 1D, 1965) geralmente chamada de seqüência dim (luz semi-acesa) é idêntica à seqüência 1B, exceto que o indicador visual está semi-aceso e não apagado. Uma unidade de potenciômetro é requerida para variar a intensidade da lâmpada. Como todos os indicadores visuais estão sempre acesos:

1. semi-acesos na condição normal
2. piscando na condição de alerta
3. em regime, depois de conhecida

não é necessária a função de teste da lâmpada.

Em algumas aplicações, a seqüência A pode ter uma desvantagem, desde que os novos alarmes momentâneos retornam ao desligamento e novos alarmes mantidos mudam para ligado, quando e durante o tempo que a buzina é silenciada pelo operador através do botão conhecimento. Novos alarmes podem ser perdidos ou confundidos com alarmes conhecidos existentes. Novos alarmes devem ser revistos ou listados durante o piscamento, com a distração contínua do sinal da buzina. Se estas características não forem desejáveis, a seqüência **A-1** com um botão de silenciador ou a seqüência **A-1-2** com um silenciador e intertravamento, pode ser usada.

5.2. Seqüência M, Reset Manual

A seqüência M (ex ISA 2C, 1965) é uma seqüência básica com reset manual que retém os alarmes conhecidos até que a condição do processo volte ao normal e a botoeira de reset manual seja atuada.

A seqüência M é igual à seqüência A-4, exceto que o sistema deve ser resetado manualmente após a operação ter voltado ao normal, para desligar o indicador visual.

Em algumas aplicações, a seqüência M pode ter uma desvantagem, desde que os novos alarmes mudam para ligado, quando e durante o tempo que a buzina é silenciada pelo operador através do botão conhecimento. Novos alarmes devem ser revistos ou listados durante o piscamento, com a distração contínua do sinal da buzina. Se estas características não forem desejáveis, a seqüência M-1 com silenciador ou a seqüência M-1-2 com silenciador e intertravamento, pode ser usada.

Para resetar os alarmes, a seqüência M requer uma botoeira de reset, que é atuada repetidamente para determinar se a condição do processo retornou ao normal. Quando o botão de reset é operado, pode ser difícil qual dos vários alarmes conhecidos voltou ao normal. Com a seqüência M, não é evidente quando a condição do processo retorna ao normal ou volta de novo para anormal. Se estas características não forem desejáveis, a seqüência R (ringback) deve ser usada.

Como a seqüência R-8, a seqüência M requer uma botoeira adicional com um contato momentâneo para a função de reset. A seqüência M é aplicada quando o operador quer manter o indicador visual ligado (após a buzina ser desligada pelo botão de conhecimento), mesmo que o contato de campo tenha voltado ao normal.

A seqüência M não deve ser usada com circuitos reflash ou para operar de saídas auxiliares reflash, desde que a seqüência não retorna ao estado de alarme quando o circuito de contato do campo retorna ao normal por pouco tempo. Se esta característica é requerida, deve-se usar a seqüência A ou R.

5.3. Seqüência R, Ringback

A seqüência R é uma seqüência básica com *ringback* que fornece indicações visual e sonora distintas, quando a condição do processo volta ao normal. As indicações de ringback são retidas até que a condições do processo retornem ao

normal e o botão de reset manual seja atuado.

Em algumas aplicações, a seqüência R pode ter uma desvantagem, desde que os novos alarmes momentâneos mudam para piscamento lento e os novos alarmes mantidos mudam para ligado, quando e durante o tempo que a buzina é silenciada pelo operador através do botão conhecimento. Novos alarmes podem ser confundidos com alarmes existentes. Novos alarmes devem ser revistos ou listados durante o piscamento rápido, com a distração contínua do sinal da buzina. Se estas características não forem desejáveis, a seqüência R-1 com um botão de silenciador ou a seqüência R-1-2 com um silenciador e intertravamento, pode ser usada.

A seqüência R inclui diferentes indicações de display visual e diferentes sinais sonoros para alarmar e ringback. Podem ser usadas diversas variações desta seqüência.

A seqüência R-8 (ex **ISA 2A, 1965**) usa um dispositivo sonoro comum para alarme e ringback e se baseia na diferença do display visual para diferenciar alarme e ringback. A seqüência **R-8** difere da seqüência A4 em que, seguindo o conhecimento, a condição retorno ao normal produz um dim piscante e um sinal sonoro. É requerida uma botoeira adicional com um contato momentâneo para a seqüência R-8. Apertando o botão reset, após a variável monitorada ter voltado ao normal, desliga o piscamento semi-aceso e silencia o sinal sonoro. Esta seqüência é aplicada quando o operador deve saber que a condição normal foi restabelecida.

A seqüência R-9 usa um temporizador para silenciar a buzina de ringback, após um tempo determinado.

A seqüência R-10 deleta a buzina de ringback e usa somente o display visual de ringback. As seqüências R-9 e R-10 evitam a necessidade de operar botoeira para silenciar a buzina, quando a condição do processo retorna ao normal.

A seqüência R-11 usa um tipo comum de piscamento para o alarme e ringback e se baseia nos diferentes tipos de som para distinguir alarme de ringback.

A seqüência R retém alarmes momentâneos e mantidos no estado de alarme, até que sejam conhecidas. A seqüência R-12 faz os alarmes momentâneos irem para o estado da seqüência ringback assim que as condições do processo retornem ao normal. Os alarmes novos momentâneos são evidentes mais cedo, mas podem ser confundidos com os alarmes existentes em ringback.

A seqüência R-1-2-9 inclui:

1. botão para silenciar
2. intertravamento para permitir novos alarmes serem revistos ou listados durante o piscamento e após o sinal sonoro ser silenciado e para requerer a operação do silenciador primeiro.
3. temporizador para reter o sinal de ringback, evitando a necessidade da operação do botão para silenciar o som de ringback quando a condição do processo retornar ao normal.

5.4. Seqüência First Out

O anunciador First out é usado para indicar qual alarme de um grupo de pontos de alarme operou primeiro. Para conseguir isso, a indicação do display visual para o ponto de alarme deve ser diferente da indicação visual dos outros pontos subseqüentes deste grupo. Somente pode existir uma única indicação de alarme first out, em qualquer grupo.

Quando o anunciador de first out é usado principalmente para identificar o primeiro alarme, pode-se usar um display visual piscante para indicar o primeiro ponto alarmado e lâmpada acesa continuamente para indicar os alarmes subseqüentes. Nesta configuração, a indicação visual para os alarmes subseqüentes é igual para alarmes novos e conhecidos.

A seqüência F1 designa o alarme first out e os alarmes subseqüentes aparecem no estado conhecido. As lâmpadas dos alarmes subseqüentes não piscam. A buzina não soa quando ocorrem os alarmes subseqüentes, a não ser que ela ainda esteja acionada pelo first out. A indicação visual do primeiro alarme é resetada pelo botão conhecimento. Os alarmes subseqüentes não são memorizados (lock-in) quando se usa a seqüência F1A.

A seqüência F1A (ex ISA 4A, 1965) é projetada para identificar o primeiro de uma série de variáveis interdependentes que tenham excedido os limites normais de operação. Uma condição anormal em qualquer um dos grupos das variáveis de processo irá causar algumas ou todas as variáveis do grupo se tornarem anormais. O primeiro alarme irá piscar e todos os pontos subseqüentes no grupo ficam acesos permanentemente. Esta seqüência monitora variáveis interdependentes. A indicação visual é desligada automaticamente quando a condição retorna ao normal, após o conhecimento.

A seqüência F2 é uma seqüência first out sem piscamento para os alarmes subseqüentes. A buzina opera quando ocorrem os alarmes subseqüentes. A indicação de first out é resetada pelo botão conhecimento.

Para permitir que a indicação do display visual first out seja revista ou listada após silenciar a buzina, quando usando as seqüências F1 e F2, deve-se usar uma botoeira separada para silenciar (opção 1).

Quando se usa o anunciador e se quer diferenciar entre alarmes novas e subseqüentes conhecidos, a seqüência first out deve incluir diferentes tipos de display visual piscante. A seqüência F3 tem piscamento para identificar alarmes novos e primeiro conhecido e uma botoeira de reset para resetar a indicação de first out, quando a condição do processo retorna ao normal ou não. Se desejado, pode se usar um intertravamento para operar o botão de conhecimento antes que a indicação de first out seja resetada pela botoeira reset (opção 3).

Depois que a indicação first out é resetada, este ponto de alarme indica a condição de processo do mesmo modo que os alarmes subseqüentes. O próximo ponto de alarme a operar, irá mostrar uma indicação first out.

As seqüências first out podem ter reset manual ou automático ou pode prover indicação de ringback quando os alarmes retornam ao normal. Os anunciadores podem ter pontos de alarme first out juntos com pontos de alarme sem first out e a diferenciação é feita por cores e posições.

Atualmente, há computadores e registradores de eventos que fornecem análise dos eventos da seqüência, tornando desnecessário o uso do alarme first out.

5.5. Seqüência com Teste

O botão de teste do anunciador inicializa uma seqüência para revelar falhas de lâmpadas e do circuito lógico eletrônico. Geralmente, os testes de lâmpada (opção 14) e de lógica são distintos. A maioria dos anunciadores possui teste operacional.

A operação do botão de teste simula condições simultâneas anormais de processo em todos os pontos de alarme associados. Quando se solta a chave, simula-se o retorno ao normal. A operação de outras chaves para completar a seqüência e observação da seqüência pode revelar falha de lâmpada e de circuitos. Pontos alarme no estado conhecido, como resultado de condição de processo realmente anormal, usualmente continuam no estado conhecido, durante o teste e continuarão no estado conhecido depois do teste.

Como o sinal de teste geralmente opera o circuito lógico da seqüência no módulo de alarme, os circuitos auxiliares de entrada do anunciador (reflash, temporizadores) e alguns circuitos auxiliares de saída podem não operar durante o teste da seqüência. Em alguns casos, não é desejável a operação de saídas auxiliares durante o teste, pois os sinais de alarme falso podem ser transmitidos ao alarme, registro ou controle associado.

Algumas seqüências de anunciador usam indicações visuais que são lâmpadas com intensidade variável (dim), em vez de lâmpadas acesas, apagadas ou piscando. A característica dim (opção 13) tem a vantagem de tornar desnecessário a opção de teste de lâmpada, pois a lâmpada está sempre energizada.

6. Arranjos do Anunciador

Anunciadores são disponíveis em uma variedade quase infinita de combinações de arranjos físicos, seqüências operacionais e características especiais.

Há dois tipos básicos de sistemas de anunciador:

1. anunciador integral, dedicado, separado, independente.
2. displays de condição e alarme integrado com outra informação operacional em uma tela de operador, usualmente um monitor de vídeo baseado em TRC (tubo de raio catódico).

Em situações críticas de segurança requerendo reconhecimento e confiabilidade de alarme, os dois enfoques podem ser usados para fornecer alarmes visuais, via redundância.

6.1. Anunciador com Lógica Integral

O anunciador com lógica integral inclui displays visuais e circuitos lógicos de seqüência montados em um conjunto. Os módulos lógicos são do tipo plug in. As lâmpadas e janelas podem fazer parte ou não dos módulos plug in. Existem blocos terminais para os contatos de campo, botoeiras, dispositivos sonoros e fiação da alimentação.

Os grandes sistemas possuem as janelas do anunciador subdivididas para formar duas, três ou mais janelas menores e um único módulo de alarme plug in pode servir cada grupo de pontos de alarme.

Como geralmente o espaço interno do anunciador integral é pequeno, as fontes de alimentação e acessórios (saída auxiliar, reflash, detector de terra, detector de falha de alimentação) podem estar montadas em outros gabinetes separados.

Os anunciadores integrais devem ser localizados de modo que a substituição de componentes e a manutenção possam ser feitos sem interferência excessiva com atividades vizinhas.

6.2. Anunciador remoto

O anunciador remoto possui os displays visuais separados dos módulos lógicos da seqüência. Gabinetes com as lâmpadas contem os displays visuais e os blocos terminais e plugs. Os módulos de alarme plug in, acessórios e fonte de alimentação são montados em gabinetes separados. As botoeiras e dispositivos sonoros são montados próximos dos gabinetes das lâmpadas.

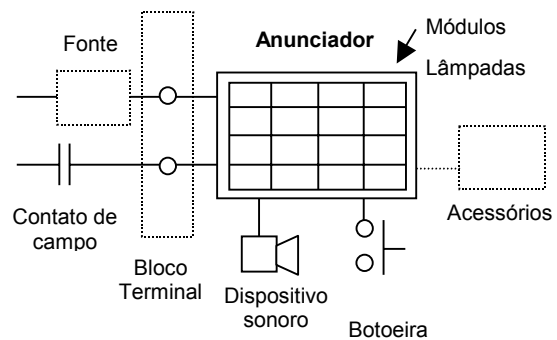



Fig. 16.12. Anunciador com lógica integral

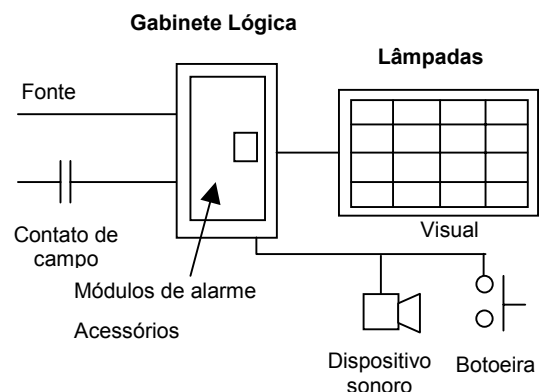



Fig. 16.13. Anunciador com lógica integral

7. Operação

O anunciador padrão é elétrico, mas existem pneumáticos. A lógica é operada de contatos elétricos que mudam de estados, de aberto para fechado ou de fechado para aberto.

O sistema básico do anunciador consiste de

1. contato de campo (chave de alarme),
2. vários pontos de alarme individuais,
3. módulo com circuito eletrônico lógico
4. display visual.
5. dispositivo sonoro
6. saídas auxiliares
7. botoeiras para atuação manual

O contato de campo é uma chave de alarme que monitora uma determinada variável de processo e é atuado quando a variável excede algum limite predeterminado. Em sistemas elétricos de anunciador, é geralmente um contato de chave que fecha (faz) ou abre (quebra) o

circuito elétrico para o módulo lógico e, como conseqüência, inicializa a condição de alarme. No estágio de alerta, o anunciador liga um indicador visual para um determinado ponto de alarme, para o sinal sonoro e o piscador (*flasher*) do sistema. O indicador visual geralmente é uma plaqueta gravada, com iluminação traseira, com um tag que identifica a variável e a condição anormal do processo. A indicação visual pode ser também uma lâmpada olho de boi com uma etiqueta gravada. O sinal sonoro pode ser emitido por uma buzina, sirene ou sino.

Os pontos de alarme individuais são operados de

1. uma fonte de alimentação comum e
2. compartilha vários componentes do sistema do anunciador, incluindo
   a) um gerador de sinal sonoro (buzina ou sirene),
   b) um piscador (flasher)
   c) chave de teste e
   d) chave de conhecimento.

Em operação normal, o sistema do anunciador e os pontos individuais de alarme estão inativos, quiescentes ou desenergizados.

Os displays visuais usualmente piscam para indicar condições anormais de processo e ficam acesos continuamente depois que os alarmes são conhecidos pelo operador. Tipos adicionais de piscamento podem indicar que as condições do processo retornaram a normal ou qual grupo de pontos de alarme operaram primeiro. Todos os pontos de alarme de um anunciador usam a mesma seqüência, porém seqüências diferentes podem ser usadas para pontos de alarme individuais ou grupos de pontos em um anunciador.

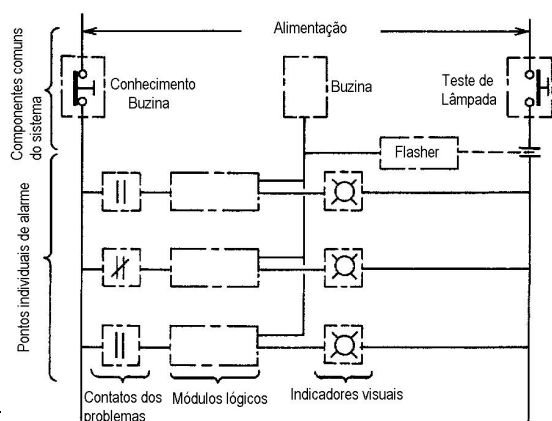



Fig. 16.14. Elementos básicos de um anunciador e sua operação

O display visual pode ter diferentes intensidades de luz e piscamento. A lâmpada piloto pode ser

1. parcialmente acesa (dim),
2. acesa continuamente
3. piscar de modo padrão
4. piscar de modo rápido
5. piscar de modo lento
6. ter cores diferentes

O dispositivo sonoro é associado ao visual, para garantir que o operador será alertado, por luz ou som, de que sua atuação está sendo solicitada no anunciador.

A atuação manual em chaves e botoeiras pode ser requerida, para:

1. silenciar o dispositivo sonoro,
2. mudar o status de acendimento de lâmpadas (piscamento para acesa constantemente, piscamento lento para rápido, acesa para apagada)
3. conhecimento de novos alarmes
4. resetar ou rearmar o sistema de alarme
5. fazer teste de lâmpada
6. fazer teste operacional.
7. conhecimento do alarme que acionou primeiro o sistema.

A interface com operador pode ser anunciadores individuais convencionais, monitores de computadores pessoais e estações de trabalho de Sistema de Controle Distribuído.

O piscamento (flasher) é comum a todos os pontos individuais de alarme e interrompe o circuito para o indicador visual, quando este ponto entra na condição de alerta. Isto faz a lâmpada piscar intermitentemente até que a condição anormal retorne ao normal ou é conhecida pelo operador. O botão de conhecimento da buzina é não retentivo (momentâneo): quando ele é operado, ele muda o circuito lógico para silenciar a sinal sonoro, para o piscamento e torna o indicador visual em "regime" (lâmpada fica acesa sem piscar). Quando a condição anormal é corrigida, o contato de problema retorna ao normal e o indicador visual é desligado automaticamente.

O botão de teste da lâmpada com seus contatos não retentivos verifica se a lâmpada está queimada nos indicadores visuais. Quando ativado, a botoeira fecha um circuito comum (barramento) para cada indicador visual no sistema do anunciador, ligando estas lâmpadas que não estão ainda ligadas como resultado de uma condição anormal.

7.1. Display Visual

O display visual do anunciador indica o estado da seqüência. Eles geralmente são invólucros contendo lâmpadas atrás de janelas translúcidas. As janelas são gravadas com os tags e funções para identificar as variáveis monitoradas. Podem ser usadas também lâmpadas tipo olho de boi, com lentes de vidro arredondas, quando o ambiente é mais adverso.

Janelas

O tamanho da janela iluminada pela lâmpada piloto não é padronizado pelos fabricantes nem pela norma. Geralmente são de 50 mm (2”) de altura e 75 mm (3”) de largura.

Geralmente a janela é feita de material translúcido, que esconde a lâmpada mas deixa passar a sua luz. A gravação na janela é feita com letras pretas. A lâmpada geralmente é branca. Quando se quer identificar alarmes com diferentes prioridades ou associar a diferentes áreas da planta, pode-se usar janelas ou lâmpadas de cores diferentes.

Para melhor visibilidade, as janelas devem ser aproximadamente perpendicular à visão do operador. Como os anunciadores são colocados acima da cabeça do operador, às vezes as janelas tem cantos inclinados ou elas são inclinadas.

O tamanho das letras de identificação deve ser tal que o operador possa fazer a leitura do ponto normal de trabalho. O tamanho é um compromisso em ser legível e não ocupar muito espaço na janela. A norma ISA S60.6: *Nameplates, Tags and Labels for Control Centers*, 1984, trata do assunto de distâncias de leitura e tamanhos de letras.

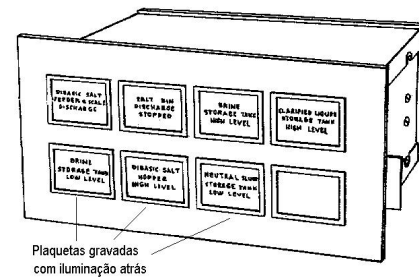



Fig. 16.15. Janelas ou pontos de alarme do anunciador

Lâmpadas

Os displays visuais de anunciador geralmente são lâmpadas incandescentes. Geralmente se usam duas lâmpadas em paralelo para melhor iluminar a janela e por questão de redundância, para aumentar a confiabilidade. As lâmpadas com base a baioneta são preferíveis às rosqueadas, por questão de manter o contato elétrico em locais com vibração.

Geralmente as lâmpadas operam em tensão menor que a tensão de especificação da lâmpada, para aumentar sua vida útil.

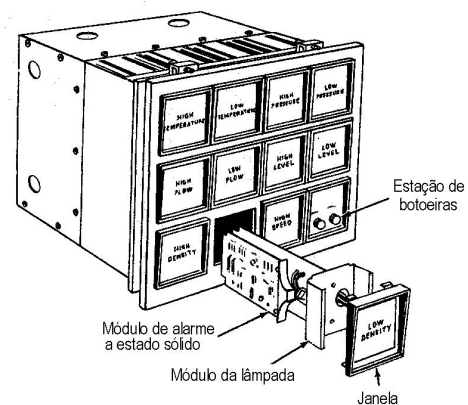



Fig. 14.16. Janela do anunciador

Tela de vídeo ou TRC

Atualmente é muito freqüente o uso de monitores ou tubos de raios catódicos (TRC). Eles são muito mais versáteis e apresentam mensagens escritas de alarme ou palavras e símbolos junto de equipamentos associados do processo. O monitor de vídeo substitui o conjunto do

anunciador e o painel semigráfico ou gráfico.

As indicações de alarme podem também piscar, ter milhões de cores diferentes, até serem conhecidas.

O conhecimento é feito no teclado ou no mouse.

Como há uma única tela, de tamanho relativamente pequeno comparado com as janelas do anunciador, através do teclado o operador escolher os diferentes grupos de alarme. Cada tela indica uma porção selecionada de alarmes.

É também possível combinar anunciadores convencionais com sistemas de computador com monitores de TRC, onde se poderia aplicar a seguinte filosofia:

1. Alarmes importantes indicados no anunciador convencional, que é mais flexível e amigável para operar
2. Todos os alarmes indicados no TRC, em várias áreas de controle. Cada alarme indica somente no TRC associado.
3. Todos os alarmes e entradas de status importantes do processo registrados em uma impressora para posterior análise dos alarmes, status do processo e seqüência de eventos.
4. Dispositivo sonoro e botoeiras projetadas para permitir silenciar as buzinas e conhecer os alarmes, como um sistema coordenado do anunciador.

Em sistema digital de anunciador, é comum o uso da multiplexação dos sinais de alarme. Multiplexar é usar um único canal de comunicação para manipular vários sinais, tomando-se um de cada vez, de forma ordenada e rápida. O sistema de multiplexação pode incluir circuitos ou canais redundantes para aumentar a confiabilidade.

A multiplexação não está ligada diretamente com o alarme, mas é uma conveniência técnica que permite a manipulação de muitos dados por um único equipamento, economizando dinheiro, espaço e fiação.

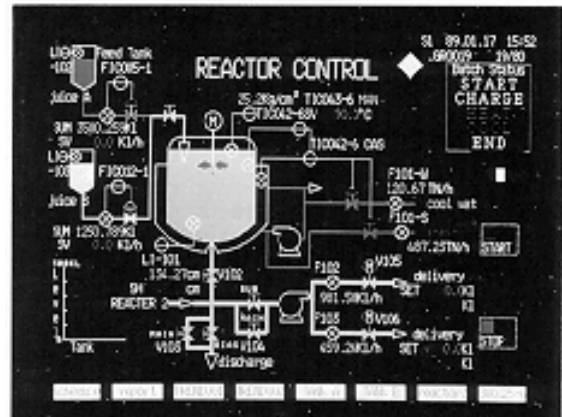



Fig. 14.17. Tela de computador com chaves virtuais

7.2. Dispositivos sonoros

Os dispositivos sonoros ou de áudio chamam a atenção do operador pelo som quando há ocorrências de alarme e retorno à condição normal do processo. Os dispositivos sonoros devem estar coordenados com os seus circuitos de acionamento. Eles podem ser montados dentro do painéis de controle, próximos do anunciador ou gabinete das lâmpadas. O som pode ser escutado nas áreas vizinhas.

Os dispositivos de som podem ser sirenes, buzinas, sinos ou alto falantes operando de geradores de som ajustáveis. O som pode ser contínuo ou intermitente, até ser silenciado por botoeiras acionadas manualmente ou podem ser desligados por temporizadores. Os sons podem ter diferentes níveis e tons, para distinguir as diferentes funções, sistemas ou níveis de importância das funções da seqüência. As opções 7 e 9 permitem adicionar características de desligamento do som, para evitar ruído desnecessário e desgaste dos dispositivos.

Os dispositivos de som, por serem elétricos, devem satisfazer as exigências ambientais e de segurança, quando montado em áreas classificadas.

7.3. Botoeiras

As botoeiras do anunciador geralmente são chaves manuais, momentâneas (contato não retentivo), que mudam o estado de uma seqüência para outro. Elas são localizadas nos painéis abaixo do anunciador ou do gabinete de lâmpadas.

Podem ser usadas botoeiras pequenas ou de uso pesado, dependendo da aplicação e da necessidade de coordenação com outros equipamentos. Como as chaves podem ser operados freqüentemente e em condição de emergência, para responder alarmes, eles devem ser selecionadas e localizadas para a operação conveniente para evitar ou minimizar a probabilidade de operação acidental de outras chaves vizinhas.

As chaves elétricas devem satisfazer as exigências ambientais e de segurança, quando montado em áreas classificadas.

Geralmente se usa intertravamento para operar a chave de conhecimento antes da chave de reset. Pode também ser desejável operar a chave de silenciar e conhecimento ou conhecimento e reset de first out na seqüência, para evitar perda de indicação do alarme. As seqüências 2 e 3 são fornecidas para adicionar estes intertravamentos.

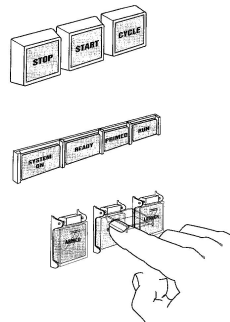



Fig. 14.18. Botoeira do anunciador

Em grandes sistemas de anunciador, é comum usar o seguinte arranjo:

Botoeiras de Silenciar

Localizadas em todos os painéis de supervisão e controle, com o objetivo de calar o dispositivo de alarme sonoro para qualquer alarme na sala de controle. Isto evita ruído continuado, enquanto retém os displays visuais piscando.

Botoeiras de Conhecimento

Localizadas apenas nos painéis de controle, onde a ação corretiva deve ser tomada e ligada a novos alarmes conhecidos. Isto encoraja a observação de controle e indicadores associados.

Botoeiras de Reset

Localizadas em todos os painéis de supervisão e controle e ligadas ao reset (rearme) de qualquer alarme de ringback na sala de controle. Geralmente, o retorno da condição de processo ao normal não requer ação de controle.

Botoeiras de Teste

Localizadas somente próximas do anunciador ou do gabinete de lâmpadas e ligada para testar somente o anunciador ou lâmpadas associadas. O teste por partes evita interromper todo o sistema de anunciador de uma vez.

7.4. Circuitos Lógicos

Introdução

Os circuitos lógicos operam os displays visuais e sonoros, através de uma série cronológica de estados, para indicar e chamar a atenção para condições de alarme e de retorno ao normal. As mudanças de um estado de seqüência para outro são causadas pelas mudanças nas condições do processo e também pela operação manual das botoeiras.

A lógica do anunciador geralmente usa circuitos a semicondutor, atualmente microprocessados e antigamente com relés eletromecânicos. Os circuitos eletrônicos a semicondutor operam tipicamente com 5 a 15 V, cc. Os relés eletromecânicos operam com a tensão alternada do anunciador.

Os módulos lógicos possuem jumpers, cuja posição define a lógica de contatos (NA ou NF) ou tipo da seqüência do anunciador.

Todos os pontos de alarme do anunciador geralmente tem a mesma seqüência de operação, mas diferentes seqüências podem ser fornecidas para pontos individuais de alarme em um anunciador. Todos os displays visuais de um anunciador usualmente piscam de em uníssono, para minimizar a confusão, principalmente durante o teste.

Contatos de campo

Os contatos de campo do anunciador são também chamados de contatos de falha ou contatos de problema. Eles são as saídas elétricas dos sensores das condições de processo. Em relação ao

anunciador, o contato pode ser normalmente aberto (NA) e fecha para alarmar ou normalmente fechado (NF) e abre para alarmar. Esta descrição da operação do contato pode ser não adequada quando especificar os sensores das condições de processo. É usualmente necessário especificar que os contatos destes dispositivos abrem ou fecham quando as condições do processo aumentam ou diminuem.

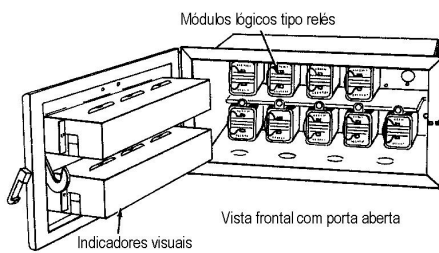



Fig. 14.19. Módulos lógicos estilo relé, com conexão plug in

A seleção da lógica dos contatos NA ou NF se baseia na experiência passada, na ocorrência de falhas, manutenção, perda da alimentação e alarme falso. As falhas nos sensores mecânicos ou elétricos afetam igualmente os contatos de campo NA e NF. Circuitos abertos na fiação do contato de campo evitam o alarme de contato NA, mas causam alarme falso em contato NF. Curto circuitos na fiação de campo fazem o contrário: evitam o alarme de contato NF e causam alarme falso no contato NA. O desligamento temporário de fiação de contato de campo para verificar falha de terra, temporariamente elimina o alarme de contato NA e causa alarme falso de contato NF. Os pontos de alarme reservas com contato de campo NF requer jumper para ficar em curto no bloco terminal do contato de campo ou alguma outra ação para evitar o display contínuo de alarme.

A tensão do contato de campo é a tensão aplicada pelo anunciador, usualmente de 12 a 125 V, cc ou ca. Geralmente, o contato NA requer maior tensão que o contato NF.

O tempo de resposta do anunciador é o período entre a operação dos contatos de campo e o início do estado de alarme; tipicamente valem de 5 a 50 ms. Operações momentâneas de contato de campo com uma duração menor que o tempo de resposta não inicializam o alarme. Ruídos podem provocar alarme falso, principalmente em anunciadores com tempo de resposta pequeno. O aumento do tempo de resposta do anunciador é um meio de evitar o alarme falso.

Como os anunciadores possuem circuitos de filtro (buffer) na entrada para determinar o seu tempo de resposta, eles não requerem fiação blindada para os contatos de campo; basta um par de fio trançado para cada contato de campo.

A corrente de regime passando pelo contato de campo do anunciador é da ordem de 1 a 10 mA. Esta corrente é necessária para minimizar o aparecimento de alarme falso.

Pontos de alarme compartilhados

Em muitos casos, vários pontos de alarme do anunciador são ligados a um único contato de campo. Às vezes, um ponto de alarme opera de dois ou mais contatos de campo, que são fiados em série ou paralelo para atender uma lógica (e.g., sistema de votação) ou para evitar alarme falso durante certas operações ou na manutenção. Estes arranjos de contato em série ou paralelo operam juntos como um único contato de campo em relação ao ponto de alarme do anunciador.

Para economizar espaço em painéis de controle, é desejável usar um display visual para mais de uma variável monitorada associada. Isto pode ser feito operando pontos de alarme de dois ou mais contatos de campo NA em paralelo ou dois ou mais contatos de campo NF em série, de modo que a operação de qualquer contato de campo cause um alarme. Quando isto é feito, este ponto de alarme alarma quando ocorre a primeira condição anormal e pode retornar ao normal somente depois de todas as condições tiverem voltado ao normal. Este ponto de alarme não pode alarmar as condições anormais subseqüentes que ocorrem, enquanto a primeira condição anormal ainda existir. Este método é conveniente e econômico, porque não requer circuitos especiais do anunciador, mas só pode ser usado

quando o conhecimento das condições anormais subseqüentes não é requerido.

A perda de informação que ocorre quando dois ou mais contatos de campo são ligados em série ou paralelo não ocorre quando se usam circuitos reflash. O circuito reflash permite que duas ou mais condições anormais inicializem ou reinicializem o estado de alarme de um ponto do anunciador, em qualquer momento. Os pontos de alarme reflash não podem retornar ao normal até que todas as condições do processo retornem ao normal.

Dois ou mais contatos de campo são fiados independentemente ao circuito reflash. As saídas do circuito reflash são ligadas aos circuitos lógicos da seqüência. A seqüência do anunciador opera de modo usual quando ocorre a primeira condição anormal do processo. Quando ocorrem condições anormais subseqüentes, enquanto ainda existe a condição anormal anterior, o circuito reflash faz a seqüência ir para o estado de alarme de novo. A seqüência não pode retornar ao estado normal até que todas as condições do processo associadas tenham retornado ao normal. O circuito reflash permite o anunciador alarmar a primeira condição anormal e todas as subseqüentes, mas a identidade das variáveis individuais monitoradas deve ser determinada por outros meios, como de instrumentos vizinhos, instrumentos de campo ou observação das condições de processo.

O número de circuitos reflash depende do fabricante. As saídas do circuito reflash são interligadas para acomodar o número requerido de contatos de campo e depois fiadas para os módulos de alarme. Em muitos casos, o projeto do anunciador limita o número de circuitos reflash que podem ser interligados ou a compatibilidade de módulos reflash.

Os módulos reflash geralmente são localizados juntos e separados dos módulos de alarme, permitindo flexibilidade no desenvolvimento e alteração do anunciador.

Pontos de alarme de entradas analógicas

Os anunciadores podem operar de contatos discretos de campo e de sinais de entradas analógicas. Os pontos de entradas analógicas estão associados com as variáveis de processo, como temperatura, pressão, vazão e nível. Os circuitos lógicos inicializam alarmes quando os sinais analógicos atingem valores acima ou abaixo de pontos predeterminados.

Os pontos de entrada analógica recebem os sinais dos sensores elétricos (termopares, resistências detectoras de temperatura) ou da saída de transmissores (4 a 20 mA cc).

Os circuitos lógicos comparam os sinais de entrada analógicos com os pontos de ajustes estabelecidos por potenciômetros ajustáveis. Jumpers móveis ou chaves podem ser estabelecidos para determinar se o alarme ocorre quando o sinal está acima ou abaixo do ponto de ajuste, ou seja, se o alarme é de alta ou de baixa. A banda morta do sinal analógico (região em que não há resposta) é também ajustável.

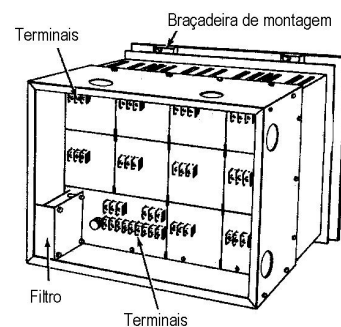



Fig. 16.20. Entradas dos sinais provenientes do campo na parte traseira do anunciador

7.5. Características Opcionais

Opção NA ou NF

As seqüências do anunciador podem ser inicializadas pelos contatos de problema das chaves de alarme que podem estar abertos ou fechados durante a operação normal. Eles são chamados de seqüências normalmente aberta (NA) ou normalmente fechada (NF), respectivamente, e a habilidade de usar o mesmo módulo lógico para qualquer um dos dois tipos é a opção NA-NF. Esta opção é importante porque algumas chaves de alarme são disponíveis com apenas um dos contatos, ou NA ou NF.

A relação entre as seqüências NA e NF requeridas no módulo lógico para estar de acordo com os vários contatos de problema e ações do sinal analógico está mostrada na **Fig. 16.**21.

Uma alarme de alta em um sistema de anunciador normalmente fechado (NF) requer um contato de problema normalmente fechado operado por uma entrada analógica de ação direta. Se há um aumento na medição, há uma aumento na saída, o sensor ou transmissor é de ação direta. Se a variável aumenta e a saída diminui, é um sensor ou transmissor de ação inversa. Se os contatos de problema em todas as chaves de alarme na planta estão padronizados, de modo que as condições de operação normais irão causar todos os contatos de problema serem NF (ou NA), a seqüência do anunciador requerida é também NF (ou NA) e a **Fig. 16.**21. não precisa ser consultada.

O sistema de anunciador é de falha segura ou autopoliciante, se ele inicia um alarme quando o módulo lógico falha, por causa da queima da bobina do relé. Esta característica é padrão para a maioria das seqüências de anunciador NA e NF. Anunciadores usando contatos de problema NF são também de falha segura contra falhas no circuito do contato de problema.

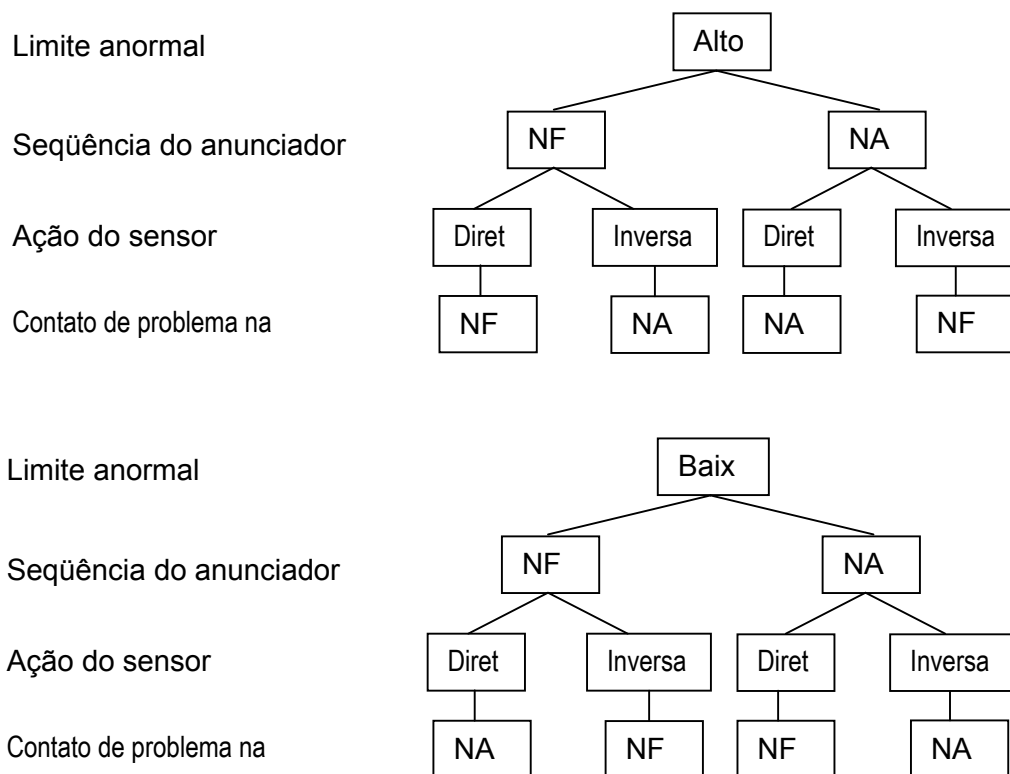



Fig. 16.21. Arvore lógica para seqüências de anunciador NA e NF.

Os fabricantes geralmente mostram o status do contato na condição desenergizada ou de prateleira do relé (sua posição quando ele está sobre uma mesa, desligado de tudo). Porém, na aplicação real, sob condições normais de operação, o relé é algum circuito pode estar energizado e outros podem estar desenergizados, dependendo da condição de falha segura selecionada para cada canal. Assim, aparece a confusão de como documentar os contatos NA e NF. Uma boa técnica é sempre ter a documentação mostrando os contatos na condição de não energizada (de prateleira) e incluir um símbolo de bobina.

Uma seta para cima ao longo da bobina indica um relé normalmente energizado (ou seja, projetado para falha segura em caso de falta de energia). Quem vê o diagrama sabe que os contatos estão *opostos como mostrados*. Uma seta para baixo indica um relé normalmente desenergizado, de modo que os contatos estão *como mostrados*.

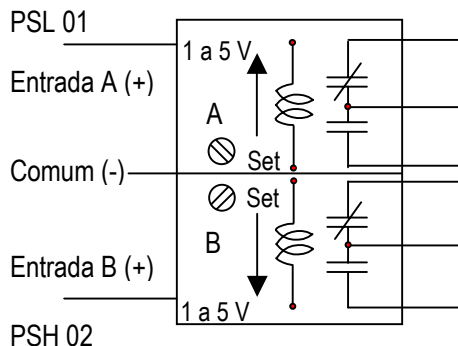



Fig. 16.22. Cartão de alarme compartilhado. Jumper entre A e B para entrada simples, ponto de ajuste (set) dual.

Usando esta técnica, na **Fig. 16.**22, pode se ver que:

1. a entrada A é um alarme de baixa pressão, mostrado no diagrama como PSL.
2. Ela é uma bobina normalmente energizada para falha segura, como visto da seta para cima, de modo que os contatos estão opostos como o mostrado durante a operação normal.
3. a entrada B é um alarme de alta pressão, mostrado no diagrama como PSH e os contatos são como mostrado em operação normal porque a bobina opera normalmente desenergizada para falha segura.

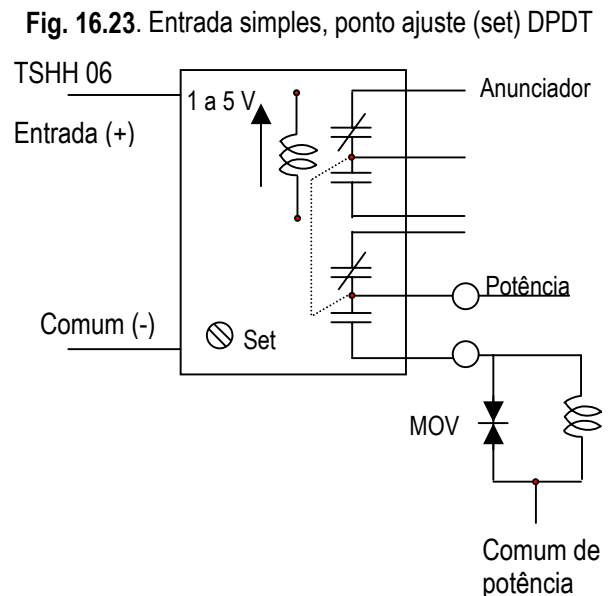
Fig. 16.23. Entrada simples, ponto ajuste (set) DPDT

O uso de dois alarmes por cartão fornece maior densidade de montagem e reduz os tipos de módulos no sistema, porque o cartão pode atender duas exigências diferentes.

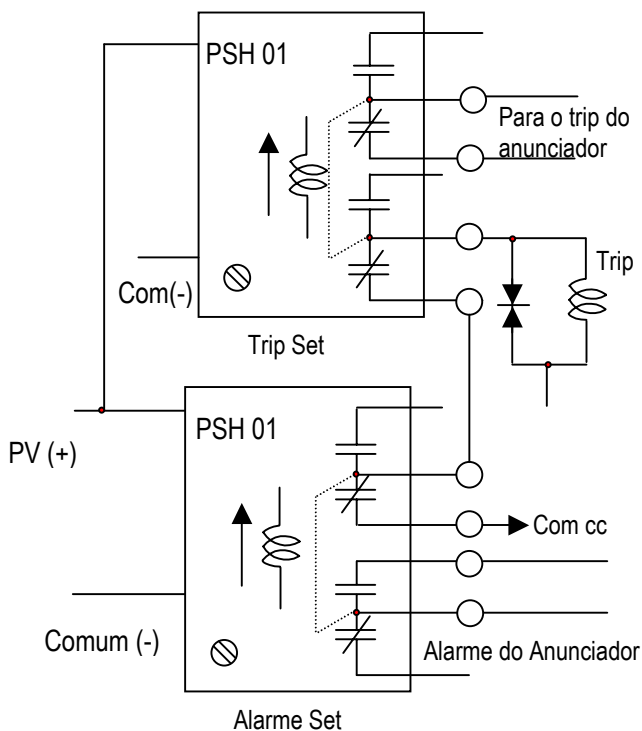
Fig. 16.23 mostra dois alarmes separados, cada um com um ponto de ajuste (set) e com contatos SPST. Jampeando A e B, obtém-se um módulo com uma única entrada e dois pontos de ajustes. Esta combinação pode ser

1. dois SPST com dois pontos de ajuste
2. um DPDT com um ponto de ajuste. O módulo com saída DPDT pode acionar um anunciador e um solenóide (**Fig. 16.**23)

(O MOV (varistor a óxido de metal) ou um diodo protege a bobina ou qualquer carga indutiva e minimiza os transientes de chaveamento induzidos nas bandejas de cabos).

A **Fig. 16.**24 mostra um arranjo com alarme de alta pressão (PSH) e desligamento com muito alta pressão (PSHH). A bobina de trip é energizada

somente depois da variável de processo (PV) exceder o ponto de alarme e o ponto de trip. como PSHH 01 opera normalmente desenergizada, não se tem alarme falso por causa da perda de potência. PSH 02 anuncia perda de potência da alta pressão.

Fig. 16.24. Entrada simples, dois pontos ajuste (set)

Memória (Lock-in) 2

Lock-in é uma característica de seqüência que retém o estado do alarme até ele ser conhecido, quando ocorrem contatos momentâneos. Com lock-in, alarmes momentâneos podem ser observados antes de operar a chave de conhecimento. Sem lock-in, os alarmes podem não ser observados, mesmo que o dispositivo sonoro tenha operado rapidamente.

A maioria das seqüências possui lock-in. Há seqüência onde a opção de lock-in é mantida ou eliminada, através de posição de jumpers ou acionamento de chave liga-desliga (*toggle)*.

Quando é freqüência a ocorrência de alarmes falsos, geralmente se deleta o lock-in, para não ter que tomar conhecimento repetidamente do alarme falso. Porém, é mais conveniente corrigir a causa dos alarmes momentâneos ou usar temporizados nos circuitos de contato do campo, de modo que se valida o contato somente depois de um determinado tempo.

A opção lock-in na condição de alerta inicializada por um alarme momentâneo até que o botão de conhecimento da buzina seja apertado, evita a perda de uma condição de alarme transitória até que o operador possa identificá-la. O módulo lógico é usualmente mudado de lock-in para não lock-in, pela adição de um jumper ou operação de uma chave. A característica de lock-in é útil para monitorar variáveis de processo instáveis ou flutuantes.

Teste

A característica de teste em um anunciador padrão serve somente para testar lâmpadas queimadas nos indicadores visuais. Há a característica de teste operacional para verificar o sistema completo do anunciador, incluindo:

1. módulos lógicos
2. lâmpadas
3. piscador
4. sinal sonoro
5. circuito de conhecimento

O circuito de teste operacional usualmente requer uma botoeira de contato momentâneo que pode substituir a botoeira de teste da lâmpada regular. O módulo lógico de anunciadores tipo relé pode ter contatos auxiliares de reserva (eletricamente isolados) que pode operar sistemas de desligamento e intertravamento quando ocorre condições de alarme. Os contatos auxiliares são ligados aos blocos terminais no gabinete do anunciador para ligação com os circuitos externos.

Pode haver lâmpadas repetidoras remotas, para alertar operadores de outras áreas. Pode também ser desejável atuar o sistema sonoro em mais de um local. Por isso o projetista deve analisar as condições de isolação, carga, impedâncias do sistema.

7.6. Saídas auxiliares

As saídas auxiliares do anunciador são operadas por pontos ou grupos de pontos de alarme para uso com dispositivos remotos. As saídas auxiliares podem ser

contato ou sinais de tensão que estão ligados a alarme remoto, registrador ou controlador. Os contatos de saída auxiliares podem ser eletromecânicos ou a estado sólido. Estes contatos são isolados eletricamente do anunciador e alimentados pelos dispositivos remotos.

Há quatro tipos comuns de saídas auxiliares para:

1. Seguidor de contato de campo
2. Seguidor de lâmpada
3. Seguidor de dispositivo sonoro
4. Reflash

Seguidor de contato de campo

As saídas auxiliares do seguidor de contato de campo operam enquanto os contatos individuais indicam as condições anormais do processo. As saídas usualmente não operam durante o teste do anunciador. Quando se requer a operação de um seguidor de contato de campo, pode ser possível evitar as saídas auxiliares operando os anunciadores em paralelo com outros dispositivos, usando os mesmos contatos de campo.

Seguidor de lâmpada

As saídas auxiliares do seguidor de lâmpada operam enquanto os displays visuais indicam os estados de alarme, silencio, conhecimento. As saídas não mudam quando as lâmpadas piscam. As saídas geralmente operam durante o teste operacional do anunciador, mas não durante o teste de lâmpadas.

Seguidor de dispositivo sonoro

As saídas auxiliares do seguidor do dispositivo sonoro funcionam durante a operação dos dispositivos sonoros de alarme comuns. As saídas geralmente operam durante o teste operacional do anunciador, mas não durante o teste de lâmpadas.

Reflash

As saídas auxiliares do reflash operam quando um ponto de alarme de um grupo de pontos indica uma condição anormal do processo. As saídas geralmente retornam ao normal rapidamente quando cada ponto de alarme muda para uma condição anormal do processo. As saídas retornam ao normal quando todos os pontos de alarme no grupo indicam condições normais de processo.

As saídas geralmente operam durante o teste operacional do anunciador.

Durante o teste do anunciador, em alguns casos, a operação das saídas auxiliares pode testar também os dispositivos remotos, porém, em outros casos, a operação durante o deste do anunciador pode ser indesejável ou inaceitável para estes dispositivos.

Quando as saídas auxiliares são ligadas a registradores para análise de seqüência de eventos, devem-se considerar o tempo de resposta da entrada do anunciador e dos circuitos das saídas auxiliares. Este atraso pode mudar a seqüência registrada quando comparada a sinais que não passam através do anunciador.

Algumas instalações usam as saídas auxiliares do anunciador para intertravamentos de controle e proteção e outros usam contatos de campo separados. O uso de saídas auxiliares é mais conveniente, mas os contatos de campo separados são mais confiáveis e evitam ações inesperadas de controle durante a manutenção do anunciador.

As saídas auxiliares podem ser usadas para retransmitir alarmes entre anunciadores, um central e vários locais. Podem ser usadas várias estratégias.

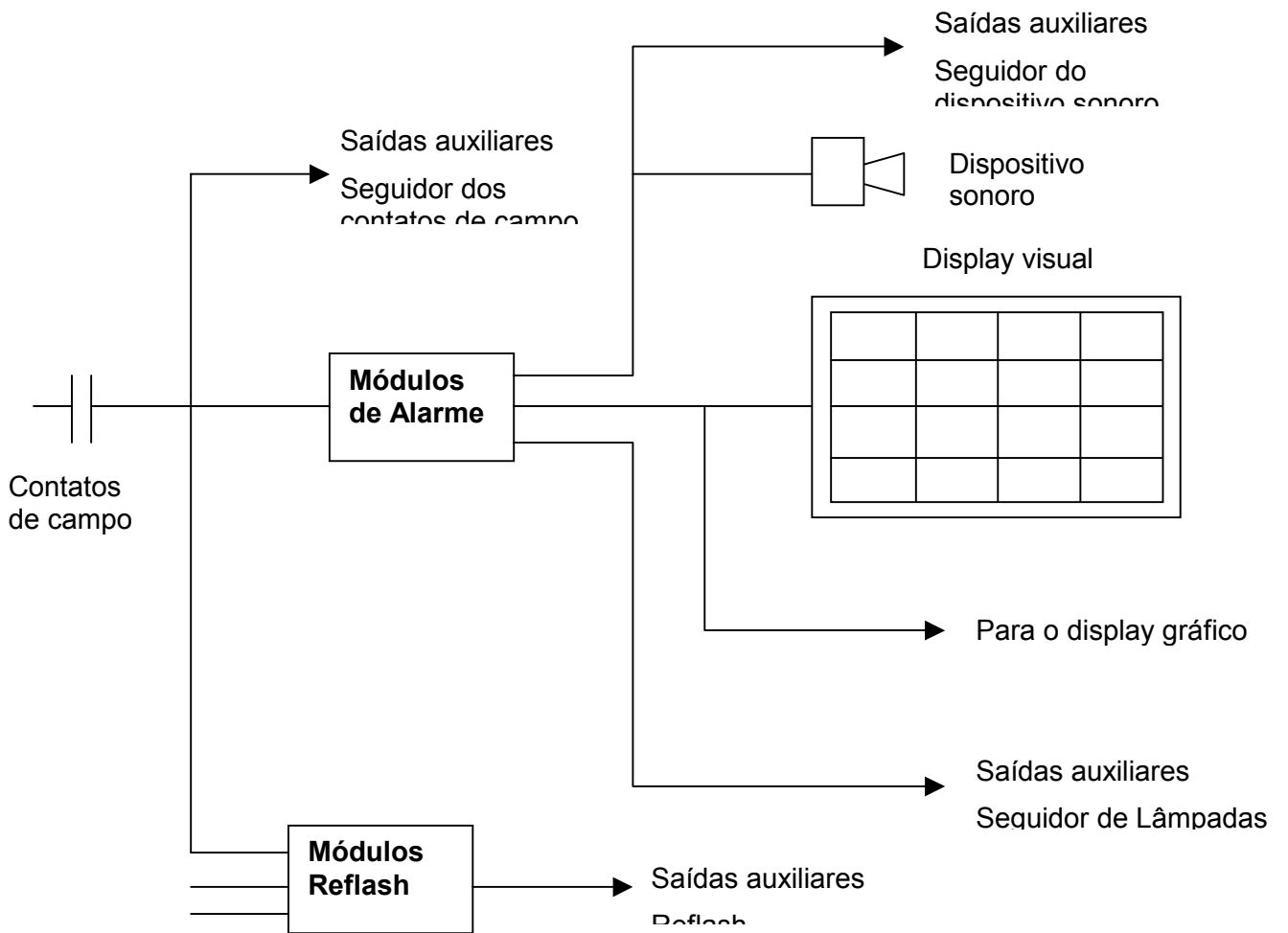



Fig. 14.25 Diagrama funcional das saídas auxiliares

Saídas auxiliares do seguidor do dispositivo sonoro

O anunciador central opera quando ocorrem alarmes nos anunciadores locais e pode retornar ao normal após conhecimento dos alarmes nos anunciadores locais. O anunciador central não indica quando os alarmes locais retornam ao normal ou que estes alarmes locais continuam existindo. Os operadores conhecendo os alarmes nos anunciadores locais são responsáveis de corrigir todas as condições de alarme locais. Este método é conveniente, econômico e pode ser facilmente adicionado a anunciadores locais existentes.

Saídas auxiliares reflash

O anunciador central opera quando ocorre cada alarme local e pode retornar ao normal após conhecimento de todos alarmes nos anunciadores locais. O anunciador central não indica quando os alarmes locais retornam ao normal. Este método requer saídas auxiliares reflash nos anunciadores locais e fiação de campo para o anunciador central de cada anunciador local.

Saídas auxiliares do seguidor de lâmpada ou dos contatos de campo

Os pontos de alarme reflash no anunciador central são usados para indicar quando ocorre cada alarme local e quando todos os alarmes locais retornam a normal. O anunciador central não indica quando os alarmes locais individuais retornam ao normal.

Este método requer saídas auxiliares de contato de campo ou seguidor de lâmpada nos anunciadores locais, pontos de alarme reflash no anunciador central e fiação de campo para o anunciador central de cada ponto de alarme dos anunciadores locais.

7.7. Sistemas de Alimentação

Fonte de alimentação

Os anunciadores podem usar uma grande variedade de tensões de fonte de alimentação, em corrente alternada de 50 ou 60 Hz e em corrente contínua. As tensões mais comuns são de 110 e 200 V, 60 Hz, mas também são usadas 24, 48 V ca. Geralmente, os anunciadores podem operar entre 90 1 110% da tensão especificada.

Muitos anunciadores operam em corrente contínua, a partir de décadas de bateria. Outros operam em corrente alternada e possuem reserva de corrente contínua.

Anunciadores com circuitos lógicos a relé eletromecânico geralmente usam a tensão de alimentação diretamente para os relés, lâmpadas e contatos de campo. Circuitos a estado sólido recebem a alimentação de tensão alternada e possuem uma fonte interna para converter ca em cc.

As fontes de alimentação tem isolação entre as fontes de potência e os circuitos do anunciador. Esta isolação permite o circuito do anunciador operar sem aterramento. Quando ocorre aterramento acidental de circuito não aterrado, o detector de terra opera e é removido sem afetar a operação do anunciador ou da fonte de alimentação.

Back up

O anunciador não é mais confiável que a fonte que o alimenta. As fontes de alimentação e os sistemas de distribuição de potência para o anunciador fornece a confiabilidade requerida pela operação do anunciador.

Uma única fonte de alimentação pode fornecer potência apenas para um número limitado de pontos de alarme ou para todo o sistema, em função de sua capacidade. A falha de uma fonte de alimentação pode desabilitar um anunciador inteiro ou pode se usar um sistema de reserva de bateria que é usado de modo que qualquer falha isolada afete não mais que um ponto de alarme.

Enquanto um anunciador alimentado por uma fonte de corrente contínua tenha uma operação confiável, uma simples falha

no barramento de distribuição de energia pode deixar o anunciador sem alimentação. Geralmente, o barramento de fonte de alimentação cc é não aterrado. Quando ocorre um contato com terra, os circuitos de carga são desligados e ligados de novo, até que o circuito aterrado seja localizado. Quando o alimentador do anunciador é desligado e ligado de novo, os pontos de alarme assumem uma seqüência aleatória e as saídas auxiliares podem operar incorretamente. Por isso, é necessário operar as botoeiras do anunciador antes que os alarmes corrigidos sejam mostrados de novo.

Quando duas fontes independentes são usadas para alimentar um anunciador importante, a confiabilidade aumenta muito. O back up de fonte de alimentação também pode ser usado, de modo que a falha de uma das fontes não afeta a operação do anunciador. O sistema com back up de bateria deve ter um alarme para indicar a falha de cada fonte de alimentação.

Detector de falha de alimentação

O detector de falha de alimentação fornece saídas para alarmar a perda da tensão nos circuitos lógicos do anunciador, lâmpadas e barramentos dos contatos de campo. O detector de falha de alimentação não pode alarmar quando o anunciador estiver em falha, de modo que outro alarme deve ser usado.

A falha de alimentação dos anunciadores locais pode ser alarmada no anunciador central. Anunciadores de registrador ou de monitor de vídeo podem ser usados para alarmar a malha do anunciador central. Os dispositivos visuais e sonoros para alarmar a falta de alimentação do anunciador devem ser alimentados por uma fonte independente da que alimenta o anunciador. Neste caso, a fone de alimentação independente deve ser monitorada pelo anunciador.

Detector de terra

Geralmente os barramentos do anunciador são não aterrados, de modo que o contato acidental com o terra pode ser detectado e alarmado, sem afetar a operação do anunciador. O aterramento indesejado de contatos de campo ou de sua fiação é o mais comum.

Os detectores de terra são usualmente ligados para alarmar a presença de um terra no condutor de um sistema não aterrado. O aterramento deve ser localizado e removido antes de ocorrer um segundo aterramento, que poderia afetar a operação do anunciador.

7.8. Testes de Fábrica

Introdução

Os testes de fabrica do anunciador podem incluir um protótipo, componentes, módulos e conjunto final. O fabricante possui seus testes de rotina, mas o usuário pode requerer outros tipos de testes para atender suas aplicações especiais (geralmente teste adicional requer pagamento adicional).

Resistência dielétrica

Os testes de resistência dielétrica, também chamados de testes de alto potencial, são geralmente feitos no conjunto final do anunciador para confirmar que as isolações e espaçamentos são adequados entre os circuitos e gabinete e também entre circuitos separados. Para evitar danos, os módulos de circuito a estado sólido são removidos, aterrados ou colocados em curto circuito durante estes testes.

As tensões de teste variam de 1000 a 1500 V ca e são aplicados por um minuto.

Teste funcional

Os testes funcionais são feitos em módulos do anunciador e em conjuntos finais para confirmar que a operação está como especificada. Os testes em conjuntos completos são chamados de testes de simulação.

Os testes usualmente incluem a operação em todos os modos de operação normais e também em modos anormais, tais como:

1. tensão acima ou abaixo da especificada
2. aterramento
3. curto circuitos
4. condições não usuais de operação

Alguns módulos do anunciador são geralmente sujeitos a um período de burn in. Este aquecimento forçado revela

módulos com componentes mais fracos que falham prematuramente durante o teste.

O teste pode ser conforme as normas do

1. National Electrical Manufacturers Association NEMA ICS 1, *Industrial Controls and Systems, Testes and Test Procedures*.
2. American National Standadrds Institute ANSI C39.5, *American National Standard Safety Requirements for Electrical and Electronic Measuring and Controlling Instrumentation*
3. Underwriters Laboratories UL 508, *Industrial Controle Equipment*

Capacidade de suportar surge

Os circuitos lógicos a estado sólido do anunciador operam naturalmente em baixo nível de potência. Os circuitos são projetados para suprimir picos e transientes elétricos que podem ser induzidos na fiação de campo. Os testes são feitos para confirmar que os picos e transientes esperados não causam operação falsa ou dano no anunciador.

O teste pode ser conforme a norma do Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE 472: *IEEE Guide for Surge Withstand Capability (SWC) Tests*.

Interferência de rádio freqüência

Há probabilidade que a operação falsa do anunciador seja causada pela operação de instrumentos eletrônicos vizinhos, tais como transmissores portáteis de rádio, telefones celulares ou walkie-talkies. Isto é mais provável em anunciadores com portas abertas. Por isso, o anunciador deve ser testado para verificar seu comportamento quando sujeita a interferências elétricas.

O teste pode ser conforme a norma do Scientific Apparaturs Makers Association SAMA PMC 33.1, *Eletromagnetic Susceptibility of Process Control Instrumentation*.

8. Outros Sistemas

8.1. Alarme discreto

Introdução

A experiência em projetos com grandes plantas petroquímicas e refinarias de petróleo envolvendo milhares de alarmes analógicos de termopares e entradas de alto nível (1 a 5 V cc, 4 a 20 mA cc) tem mostrado que os módulos discretos de alarme tem diminuído, porém ainda existem. Eles se tornaram menores, mais adaptáveis em função e mais fáceis de ajustar. As razões de sua sobrevivência são a necessidade de reservas de alarmes em malhas críticas e a simplicidade de uma unidade, uma função.

Unidades adaptáveis tem características de seleção no campo, tais como:

1. direção do desligamento
2. seleção de falha segura
3. seleção do tipo do sensor

As unidades tem displays digitais das variáveis de processo e valores de ponto

de ajuste, diferentes dos antigos alarmes cegos.

Fig. 16.26. Instrumento com alarme discreto embutido

Escolha do alarme

Na seleção e projeto do sistema de alarme e desligamento usando módulos discretos, o projetista deve considerar:

1. as entradas são de tensão ou de corrente?
2. as variáveis requerem apenas um ponto de ajuste (alto ou baixo) ou dois (alto e baixo, baixo e muito baixo)

3. deve haver isolação dos alarmes em aplicações com um único alarme, (podendo usar dois ou mais alarmes no mesmo módulo)?
4. os tipos de contato de pólo simples são suficientes ou necessita se usar pólos duplos?

As entradas de tensão são mais convenientes que as de corrente, por causa da facilidade de ligação e remoção dos módulos e porque um tensão cc comum reduz a fiação. O erro de um comum compartilhado é pequeno quando se tem altas impedâncias de entrada no circuito. Por isso, recomenda-se manipular localmente sinais de tensão em vez de sinal de corrente.

Um problema usando módulos de alarme de alta densidade (vários sinais compartilhados por um único módulo) aparece quando se tem saídas DPDT (duplo pólo, duplo terminal) em unidades com ponto de ajuste dual, pois não há espaço para tantos terminais (12 terminais para cada ponto de ajuste).

8.1. Enunciador

O sistema de alarme enunciador é um sistema de comunicação verbal que produz mensagens em voz para os operadores. A seqüência de alarme do enunciador é similar a do anunciador, exceto para o alarme sonoro. A seqüência pode ser projetada como:

1. Os contatos do sensor de condição abrem, causando um piscamento de lâmpada e uma mensagem gravada.
2. O conhecimento pára o piscamento da lâmpada e repete a mensagem.
3. A correção do problema causa o apagamento da lâmpada e reseta o sistema.
4. A botoeira de teste verifica todas as partes do sistema de áudio, exceto outras mensagens gravadas.

Um computador pode ser programado para iniciar as mensagens de alarme. Os pontos de alarme são varridos para procurar uma condição de alarme dos contatos. Se um contato está na posição de alarme, o circuito lógico para este ponto particular atua a seqüência. As mensagens duram cerca de 10 segundos, de modo que se dois alarmes são disparados ao mesmo tempo, uma mensagem deve esperar pela outra. Após o conhecimento da primeira mensagem, a segunda será tocada. As mensagens são gravadas em fitas magnéticas que contem quatro trilhas paralelas, com uma mensagem em cada trilha.

Lógicas eletrônicas de varredura verificam cada ponto em uma velocidade nominal de 20 pontos por segundo.

O custo de um sistema de enunciador é cerca de duas a três vezes o custo de um sistema de anunciador. Parte deste curso é devida ao sistema de comunicação que suporta o sistema do enunciador. O sistema de comunicação permite se comunicar com o operador instantaneamente.

8.2. Registrador de Eventos

Um registrador de eventos fornece uma cópia impressa em papel (hard copy) de ventos com estampa de tempo, que usualmente estão no alarme ou no retorno ao normal. A copia impressa apresenta uma história exata dos eventos associados ao desligamento (trip ou shut down), tagueados com o tempo de ocorrência, com resolução de milissegundos (ms). Freqüentemente quando ocorre um desligamento, a sua causa não pode ser determinado pelo operador ou instrumentista. O desligamento pode não ser necessariamente de longa duração, mas a interrupção pode provocar perda de produção, dano ao pessoal ou prejuízo ao equipamento. O erro humano pode entrar também na história. Muitos desligamentos são provocados por procedimentos incorretos de operação. A nova partida do equipamento pode mascarar a causa.

Fig. 14.27. Registrador de eventos dedicado

O desligamento do compressor é um exemplo típico. O desligamento do compresso durante condições de alarme é necessário, por causa de sua função interativa no processo da planta em provocar condições perigosas devidas a alta pressão. Enquanto muitos compressores possuem seu próprio painel de display de monitoração que pode indicar o desligamento, em muitas instalações estas informações são insuficientes, desde que os alarmes são limpos antes de uma análise. Neste caso, o registrador de eventos é uma boa ferramenta de diagnose para determinar a seqüência exata dos eventos e principalmente apontar qual o que aconteceu primeiro e foi a causa principal do desligamento.

8.3. Monitor Específico

É comum o uso de monitor específico e dedicado para alarme. Este instrumento é auto contido (stand alone) e pode monitorar o alarme de oito pontos diretamente com capacidade de ponto de ajuste dual (alto e baixo, por exemplo) e com display a cristal líquido. Cada alarme ocupa duas linhas, com 32 caracteres por linha, cada linha descrevendo as variáveis e condições monitoras.

Fig. 16.28. Monitor dedicado a monitoração de compressor

8.4. Alarmes por Computador

Há alguns anos, era comum se usar anunciadores convencionais com centenas ou milhares de janelas de alarme dedicadas para grandes instalações. Como o uso do computador, os anunciadores foram diminuídos para apenas alguns pontos críticos, desde que as funções de alarme foram incorporadas ao computador, via software. Os alarmes passaram a ser mostrados em monitores de vídeo. Os usuários foram desafiados em escolher entre anunciadores convencionais e alarme no TRC e optaram em usar a combinação dos dois sistemas.

O anunciador dedicado tem vantagens e desvantagens, quando comparado ao TRC. Os anunciadores convencionais evoluíram e também incorporaram as vantagens da tecnologia do microprocessador, enquanto reteve algumas características chave e inerentes a ele, tais como

1. ser ligado diretamente ao sensor de campo
2. familiaridade de configuração fixa
3. dedicação exclusiva à função de alarme
4. não necessitam de programação prévia
5. são mais amigáveis ao operador, não causando confusão na ação, reação e conhecimento dos alarmes

Os alarmes com TRC, por outro lado,

1. podem ter projeto personalizado

2. fornecem uma tremenda quantidade de informação útil na tela.
3. são mais flexíveis, principalmente para alterar a filosofia de operação, via software.

Em qualquer caso, anunciador integral ou sistema com computador, os sensores devem ser fiados fisicamente (*hard wire*) para as entradas, diretamente ou através de portas seriais.

A tendência atual é combinar os dois sistemas, um de anunciador dedicado associado com o sistema digital de controle (Controlador Lógico Programável, Sistema Digital de Controle ou Controle Supervisório), onde o operador

1. obtém informação mais fácil e exata do anunciador convencional
2. utiliza as listas e os alarmes destacados nas telas de TRC para ajuda, complemento e otimização.

Característica	Anunciador	Alarme TRC	Híbrido (1)
Sistema é independente Sistema de alarme dedicado	X X	Não independente. Uma consideração secundária; depende do objetivo do computador	X X
Redundância intencional (superposição de confiabilidade) Reconhecimento de alarme	Depende do projeto particular X	- Possível, depende do projeto particular	X X
Custo - benefício	Depende da aplicação particular, tamanho e local	Depende do custo do software	X
Designação da prioridade do alarme Possibilidades de expansão	X Varia com o fabricante	Depende do programa Pode requerer hardware adicional ou mudança no software	X X
Gráficos	Varia; Painel gráfico ou semigráfico	X	X
Configuração é familiar (organização visual)	X	Possível, depende de vários fatores: software, número de telas, velocidade de chamada	X
Comunicação com computador Fiado diretamente	Depende do fabricante X	X Requer hardware de entrada	X (2)

Nota:

(1) Sistema combinado assume que o anunciador possui porta de comunicação com computador e disponibilidade de software.

(2) Substitui hardware de entrada

(3)

8.5. Painéis de alarme

A maior deficiência do sistema com CLP é não ter uma interface homem máquina natural. Por isso, os painéis simples de mensagens estão se tornando freqüentes como interface de CLPs e dispositivos relacionados com operadores humanos. Geralmente usados como alarme, avisos ou dispositivos de advertência, estes painéis de mensagem são disponíveis em uma grande variedade de formatos e tamanhos. Embora sejam normalmente com caracteres alfanuméricos, eles também são disponíveis com algumas funções gráficas básicas. Eles podem ser montados próximos do CLP ou remotamente, em locais mais apropriados para o operador.

Visibilidade e legibilidade são exigências chave para os displays de mensagens. São usadas várias tecnologias diferentes para acomodar as diferentes condições de operação. As tecnologias de display mais comuns incluem display de cristal líquido (DCL), diodo emissor de luz (LED), display fluorescente a vácuo, display eletroluminescente (DEL) e display de plasma de gás (DPG). O display de cristal líquido não gera sua própria luz de display e requer uma iluminação traseira adicional, em ambiente de pouca luz. As outras tecnologias emitem luz própria.

Na seleção do painel de mensagem é fundamental garantir que haja compatibilidade de comunicação digital entre o CLP e o painel de mensagem (deve haver um driver de interface).

Outras variáveis incluem o número de linhas do display e o número de caracteres por linha. O número de linhas varia de 1 a 25; a maioria tendo 2 a 4 linhas. O número de caracteres varia de 6 a 80; o mais freqüente é de 20 a 40 caracteres por linha.

Sob condições normais de luz, recomenda-se usar caracteres escuros sobre fundo branco. Quando se usa o contrário, caracteres claros sobre fundo preto, os caracteres devem ter uma intensidade de luz, no mínimo, igual ao dobro da intensidade do fundo.

Quando selecionar cores, lembrar que o olho humano detecta melhor as cores visíveis entre o verde e vermelho. O maior contraste, porém, é obtido com fundo preto e caracteres amarelos.

Fig. 16.29. Painel de mensagem entre sensores fotoelétricos.

Alarmes e mensagens não são mais tratados como entidades separadas. Eles estão sendo integrados em outras funções mais elevadas de comando, controle e comunicação, não somente nas operações de produção mas dentro de toda a organização. A nível de sistema, os alarmes estão assumindo funções multimídia interativa, integrando-se a gráficos, recuperação avançada de documentos, áudio e vídeo, tela acionada por toque (touch screen) e sintetizador de voz.

9. Tendências no anunciador de alarme

9.1. Tecnologias rivais

Na década de 1990, a tecnologia de controle e monitoração de processo se moveu dos instrumentos tradicionais montados em painel para coleta de dados, comunicação, display e armazenamento, tudo baseado em microprocessador. Houve uma grande substituição, melhoria e atualização na área dos anunciadores, mas algumas novas tecnologias começaram a capturar alguma funcionalidade de monitorar alarmes. Os sistemas digitais novos, como Sistema Digital Distribuído, Controlador Lógico Programável e Controle Supervisório com computador incorporaram muitas das funções tradicionalmente feitas pelo anunciador. As vendas numerosas de programas para controle, monitoração e interface homem máquina continuaram a aumentar a penetração dos computadores na área de anunciador de alarme.

Os produtos de controle e monitoração baseados em computador devem ser interligados para a troca de dados. Geralmente a interligação é feita por links de dados seriais, que já estão bem desenvolvidos para a ligação entre dispositivo-computador e entre dispositivo-dispositivo. Muitos protocolos seriais são proprietários ou foram originalmente proprietários e agora são de arquitetura aberta (disponíveis para todos os usuários). As velocidades de transmissão de dados e os estilos físicos de interligação variam com cada protocolo.

Os fornecedores de aplicativos de monitoração e controle de processo geralmente desenvolveram drivers para muitos destes protocolos seriais, de modo que os dados podem ser facilmente trocados entre o PC e o dispositivo remoto. Por exemplo, um CLP pode ser equipamento com uma porta serial de comunicação usando o protocolo Modbus, que pode ser ligado a um computador através de uma porta serial RS 232 C. O PC iria rodar o programa de controle e monitoração para o qual o driver Modbus é disponível. Assim os dados de alarme e controle podem ser trocados através de link serial entre o CLP e o PC. Qualquer dispositivo remoto que se comunica sobre o link Modbus pode também se comunicar com o PC.

Protocolos seriais padrão de comunicação permitem produtos de vários fornecedores se comunicar entre si e com outros dispositivos. A interconectividade entre vários fabricantes é possível quando o software e hardware são compatíveis nas interfaces de comunicação. Como há muitas tecnologias existentes, pode haver problemas de incompatibilidade. Algumas tecnologias de comunicação oferecem vantagens técnicas, tais como

1. capacidade de manipular dados
2. velocidade
3. comprimento de linha
4. configuração de rede

que devem ser consideradas na escolha do projeto. Há uma clara necessidade para a intercambiabilidade (substituição sem ajuste) ou, no mínimo, a interoperabilidade (substituição com pequeno ajuste).

9.2. Anunciador isolado

A necessidade e aplicação do anunciador isolado contínua existindo. Enquanto os SDCDs, CLPs e os supervisórios com PC oferecem a funcionalidade de monitorar alarmes, nem sempre esta funcionalidade representam a solução melhor e mais segura. A disponibilidade de várias telas pode causar confusão, principalmente quando muitos acontecem simultaneamente. Os anunciadores convencionais representam o modo mais simples e menos ambíguo de apresentar o alarme. A combinação de sinais visual e sonoro é preferida pelos operadores para alarme pontos críticos. Sistema suplementar baseado em monitor de TRC fornece detalhes adicionais ao anunciador, tais como telas de ajuda e funções de registro de tendência e de dados históricos.

9.3. Anunciador distribuído

O anunciador de alarme hoje se integra com o mundo de comunicação de dados. Anunciador com portas seriais de comunicação são facilmente disponíveis. Estes anunciadores distribuídos podem aceitar grande quantidade de dados de

alarme no modo convencional (fechamento ou abertura de contato, entradas analógicas), mas também aceitam dados de alarme para anunciar de portas seriais de comunicação do CLP ou do SDCD. O anúncio local de alarme pode, portanto, ser fornecido onde os dados de alarme entram no anunciador da porta serial e da fonte direta.

Fig. 16.1. Configurações possíveis do anunciador de alarme

9.4. Software baseado em PC

A disponibilidade de portas de comunicação serial padronizada em anunciador de alarme fornece uma fácil conexão com software de monitoração de alarme baseado em PC. A maioria dos programas aplicativos de controle, monitoração e supervisão de processo incluem a monitoração de alarme. Anunciador com porta serial pode exportar o status de alarme para um PC rodando o aplicativo. Esta estratégia é uma solução barata para manipular dados de alarme, listar e imprimir alarmes na sala de controle ou na sala do gerente de manutenção. Nesta configuração, o anunciador de alarme age como um dispositivo de entrada de alarme, um anunciador local de alarme (visual e sonoro) e um transmissor de dados de alarme sobre uma porta serial para o PC.

9.5. Estampando data e hora

Anunciador de alarme microprocessado pode ser programado para estampar a hora dos eventos de alarme localmente no anunciador, com resolução de milissegundos (ms) ou melhor. Sistemas mais avançados podem também estampar a qualidade do dado, garantindo sua validade. Esta combinação de anunciação e registro de eventos seqüenciais é uma ferramenta poderosa para monitorar alarme e analisar falhas no processo. A combinação de anunciador com registro de eventos seqüenciais com portas seriais e arquiteturas distribuídas resultam em sistemas de monitoração distribuídos, que constituem a melhor solução para gerenciar alarmes de plantas de manufatura. O sistema de monitoração distribuído oferece um gerenciamento de alarme totalmente independente do sistema de controle do processo de manufatura, resultando em um ambiente mais seguro e fornecendo um registro seguro e um claro diagnóstico de falhas.

17
Operação do Processo

1. Introdução

Embora os sistemas de controle modernos tenham atingido um alto grau de automação, o operador de processo ainda é imprescindível e tem a responsabilidade imediata e total pela produção segura e econômica do processo. Há diferentes filosofias relacionadas com a função de segurança de intertravamento, se o processo deve ser desligado manualmente pelo operador ou automaticamente pelo sistema de *trip (shut down, shut off*) . Em geral, quanto maior o perigo, mais forte é o argumento para haver instrumentação protetora. Qualquer que seja o enfoque adotado, o operador ainda tem a função vital de operar a planta de modo normal, evitando as condições de desligamento. E quando houver o desligamento, ele deve ser feito de modo ordenado e seguro.

A função do operador de processo é crucial, embora a operação apresente ao operador tipos de problemas que ele não está acostumado a tratar. O estudo dos trabalhos industriais e as situações de trabalho são o campo da ergonomia ou a engenharia dos fatores humanos equivalentes. É portanto apropriado considerar a contribuição que esta disciplina presta aos problemas associados com o trabalho do operador de processo.

Comparada com outras industriais, a indústria química faz pouco uso dos fatores humanos na área de operação do processo.

2. Fatores Humanos no Projeto

O caminho percorrido pela tecnologia e a escala dos sistemas atuais tornaram impossível acreditar no método de tentativa e erro para conseguir a melhor adaptação das tarefas do homem. Hoje, é necessário encarar e superar os problemas através da ergonomia.

Ergonomia é o estudo da capacidade e da psicologia humana em relação ao ambiente de trabalho e o equipamento operado pelo homem. É a parte da engenharia que trata dos fatores humanos. O seu desenvolvimento foi muito influenciado pelos problemas encontrados nos complexos sistemas homem-máquina, aplicados principalmente nos campos da defesa militar, aeroespacial e de computação. O rápido e grande desenvolvimento tecnológico não mais permitem confiar no método de tentativa e erro para se adaptar e desenvolver as tarefas humanas.

Uma área importante de estudo nos primeiros trabalhos sobre fatores humanos era a compatibilidade entre o homem e a máquina, com ênfase em botões e escalas (*knobs* e *dials*). Atualmente, os fatores humanos são vistos como engenharia de sistemas.

2.1. Temas em fatores humanos

Uma lista das atividades dos fatores humanos no projeto de um sistema está mostrada na Tab.15.1 onde dois pontos podem ser notados:

1. os fatores humanos estão incluídos em todos os estágios do projeto e
2. as decisões tomadas nos primeiros estágios, como alocação de função, são muito importantes e o processo de projeto é altamente interativo e iterativo.

Tab. 15.1 - Tópicos Selecionados em Fatores Humanos

- Amostragem e processamento da informação
- Aprendizado
- Habilidade
- Fadiga, stress, sobrecarga
- Tomada de decisão
- Tarefa de diagnóstico
- Motivação
- Avaliação do desempenho
- Análise da tarefa
- Sistemas homem-máquina
- Controle manual e rastreamento
- Confiabilidade do sistema homem-máquina
- Erro humano
- Situações de emergência
- Sistemas homem/computador
- Displays
- Vigilância e detecção do sinal
- Tarefas de inspeção
- Controles
- Relações entre controle e display
- Painéis de controle, consoles de computador
- Seleção do pessoal
- Treinamento
- Fatores de organização
- Trabalho repetitivo, pausas de descanso
- Trabalho de turno

Os primeiros trabalhos sobre fatores humanos eram relacionados com as tarefas físicas, mas atualmente, o ênfase é colocado nas tarefas mentais; o que é mais relevante, pois o operador de processo está essencialmente tomando decisões.

O modelo do homem como um processador de informação é útil; embora a aplicação da teoria da informação para o problema não seja bem sucedida. O trabalho nesta área tem enfatizado:

1. a habilidade do homem aceitar as informações provenientes dos muitos canais sensores e codificados de vários modos diferentes,
2. as diferenças nas quantidades de informação que podem ser manipuladas pelos vários canais,
3. a amostragem da informação e a atualização de seu modelo mental do ambiente;
4. o efeito do excesso de informação, resultando na omissão seletiva de partes da tarefa,
5. a característica da memória, particularmente da memória imediata, como a exercida na lembrança de um numero de telefone para fazer uma chamada.

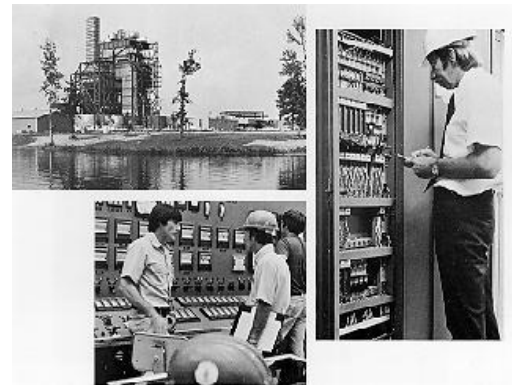



Fig. 17.1. Operador do processo

O enfoque do fator humano para um trabalho particular tende a ser a questão da habilidade envolvida, incluindo a natureza da habilidade, sua aquisição através do processo da aprendizagem e sua desintegração sob stress. As habilidades diferem grandemente em sua facilidade para estudar. Algumas aptidões do operador de processo podem ser inacessíveis. Mesmo assim, o

desempenho habilitado exibe certas características comuns. A habilidade se baseia no sentimento do tempo (timing) e na coordenação das atividades, para resultar em um desempenho suave e sem esforço. É altamente aprendido e vagamente acessível à consciência, como indicado pelo fato que a tentativa de descrevê-lo, quando em treinar um novato, muitas vezes leva a real degradação do desempenho.

Os efeitos na habilidade das várias formas de stress, tais como fadiga, carga de trabalho, ansiedade, indicam que o desempenho da habilidade tende a melhorar com stress moderado, mas além de um limite, varia grandemente com o indivíduo e se deteriora rapidamente

A característica humana é contrária ao modelo matemático de tomar decisões. Estudos mostram que a tendência humana é tomar decisões baseando-se em pequenas amostras, pulando para as conclusões e tomando decisão dirigidas para o otimismo, apostando que no fim tudo dá certo.

Um tipo de tomada de decisão muito importante é a diagnose. Estudos indicam que o homem não segue a árvore de decisão das probabilidades dos vários caminhos, mas se move através da árvore, testando primeiro os caminhos de alta probabilidade e somente indo para os de baixa probabilidade quando os primeiros foram esgotados.

O desempenho humano das tarefas de controle manual foi muito estudado, associado com as não linearidades e com os dados amostrados. Trabalhos mostram a dificuldade crescente do operador humano para controlar processos com um grande número de atrasos de transferência ou integrações ou tempos mortos.

Certos sistemas são virtualmente incontroláveis pelo operador, a não ser que lhe seja fornecida informação especialmente processada. Em particular, sistemas com mais de três integrações em série tendem a ficar além dos limites do controle manual.

Outra característica do homem como controlador é sua habilidade de exercer as funções do controle preditivo antecipatório

Muito trabalho foi feito sobre displays, em termos de projeto detalhado de escalas e o *lay out* do display e provavelmente estes são os aspectos que o engenheiro mais facilmente identifica como fatores humanos. A classificação dos usos dos displays é:

1. **Indicação de status**, onde o operador recebe a informação discreta de um estado entre dois possíveis: motor ligado-desligado, operação normal-anormal, nível baixo-alto, luz acesa-apagada.
2. **Indicação quantitativa**, onde o operador lê um valor numérico preciso. Por exemplo, temperatura de 24 ^{o}C, pressão manométrica de 2000 kPa.
3. **Leitura de verificação**: o operador requer a confirmação de que o valor está dentro de uma faixa aceitável. Por exemplo, nível não está nem baixo e nem alto.
4. **Ajuste**, o operador manipula seu controle do instrumento para conseguir um estado predeterminado do display. Exemplo: estabelecimento do ponto de ajuste do controlador, ajuste do valor predeterminado do totalizador.
5. **Rastreamento**, o operador executa uma tarefa de controle para conseguir certas condições do display que podem variar com o tempo. Exemplo: o operador atua manualmente na válvula para encher um tanque.

A relação controle e display é importante. Em uma determinada cultura, há um paradigma acerca de determinados movimentos de controle e de indicação na escala. Por exemplo, pode-se ter um paradigma típico de relação de controle e display como o mostrado na **Fig. 15.**2. Mesmo que o operador tenha sido treinado a usar o equipamento de determinado modo, em alguma situação, principalmente quando sujeito a stress, ele pode inverter a relação esperada. A violação do paradigma pode ter resultados catastróficos.

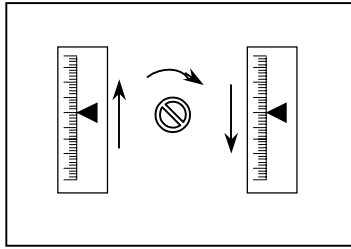



Fig. 17.2. Relação esperada entre controle e display

A monitoração, detecção de sinal e vigilância são outras áreas relacionadas e importantes em que há muita pesquisa. Um tema interessante é a perda da atenção durante um período de observação, ou seja, o efeito vigilância. Há uma relação bem estabelecida entre a freqüência de um sinal e a probabilidade de sua detecção: a probabilidade de detecção de um sinal raro é muito pequena.

Os problemas de sistemas com homem e computador foram extensivamente estudados, incluindo a alocação de função entre o homem e a máquina, a interação entre o homem e o computador e a solução de problema do homem e computador. A recomendação é fazer a automação completa com o computador e deixar o operador tomar a decisão assistido pelo computador.

Este resumo rápido serve apenas para mostrar que os problemas relacionados com os fatores humanos são muito relevantes para o controle do processo pelo operador humano.

2.2. Fatores humanos na operação

Antigamente (1940-60), os painéis de instrumentos eram simplesmente uma estrutura em que os instrumentos eram alojados, geralmente com algum grau de lógica e bom senso. Isto era feito de acordo com o caso individual e sem um enfoque sistemático para melhorar o desempenho da combinação homem-máquina. Depois (1960-1980), apareceram as salas de controle centralizadas com uma enorme quantidade de informações para um operador supervisionar. Finalmente (1980-1995), as informações, diagramas, gráficos apareceram em telas de vídeo ou monitores de sistemas digitais e de computadores.

As indústrias de processo se tornaram mais envolvidas em uma disciplina conhecida por vários nomes, incluindo *engenharia dos fatores humanos, engenharia humana, ergonomia* e *biotecnologia.* As indústrias se tornaram capazes de usar os princípios desenvolvidos pela indústria militar, usando grandes quantidades de equipamentos técnicos e mão de obra de modo mais efetivo e eficiente.

A engenharia dos fatores humanos se aplica a algo tão simples como o tamanho e formato de uma chave de fenda que possibilite o seu uso para apertar um parafuso de modo mais firme, confortável e seguro.

A engenharia dos fatores humanos também se aplica a algo complexo como o projeto de uma sala de controle, habitat natural do operador de processo. O trabalho do operador na sala de controle envolve muitos fatores, incluindo os seguintes:

Projeto da Interface

As principais características do operador em projetar uma interface são:

1. parâmetros físicos
2. experiência, incluindo treinamento
3. hábitos adquiridos no passado.

As pessoas, como resultado da experiência passada, esperam que os controles se movam de certos modos. Estas expectativas são chamadas de estereótipos ou paradigmas porque elas são universalmente aceitas. Quando possível, a seleção dos componentes para uma interface de controle industrial deve ser uma extensão dos estereótipos ou padrões habituais. Por exemplo,

1. As chaves elétricas montadas em parede encontradas nas casas tem estabelecido um padrão de hábito para ligar-desligar lâmpadas.
2. O movimento de deslizar para cima e para baixo está associado com ligar e desligar e também pode ser transferido de um hábito aprendido previamente.
3. O movimento horário ou anti-horário de uma chave rotatória é comumente usado em eletrodomésticos, como liquidificador, televisão, geladeira e forno de microondas.
4. A escala em um chave deslizante ou potenciômetro mostra um aumento quando a chave é movida para acima ou para a direita. Estas ações de controle requerem o mínimo esforço consciente para aprender e são bem estabelecidos na vida diária.

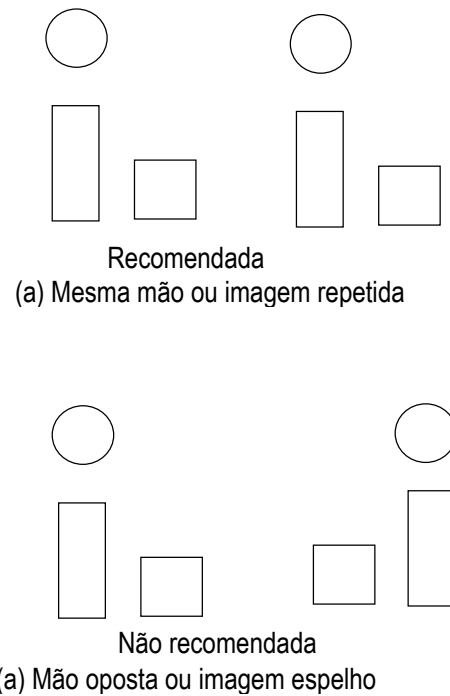
Quando se usam controles e arranjos de displays já consagrados pelo hábito, geralmente tem-se as seguintes vantagens:

1. O tempo de resposta é menor.
2. O primeiro movimento de controle do operador é geralmente correto.
3. Um operador pode fazer tarefas mais rapidamente e com maior precisão.
4. Um operador pode aprender os procedimentos mais rapidamente.

Uso do corpo humano

O uso do corpo humano é um assunto coberto pela *antropometria*, que é o estudo das medidas do corpo humano, sua habilidade para ver e escutar, sua tendência à fadiga e a probabilidade de se cometer erros. Esta informação é baseada em extensa pesquisa e teste.

Estas características do corpo humano mais a natureza, freqüência e dificuldade das tarefas físicas e mentais que o operador deve executar, a posição de seu corpo e suas necessidades de mobilidade são importantes no projeto de painéis de instrumentos. Eles afetas as dimensões e disposição (layout) dos instrumentos no painel e até a aparência dos instrumentos.

Fig. 17.3. Arranjo de grupos de instrumentos semelhantes

Pequenos detalhes podem afetar o desempenho do operador durante as suas oito (ou seis) horas de trabalho. Por exemplo, para uma tela de monitor: a resolução das figuras, a altura de sua posição, a iluminação externa, luminosidade e contraste.

Outros fatores antropométricos incluem:

Ambiente físico

Como ambiente físico consideram-se a temperatura e umidade ambiente, luminosidade, ruído e a quantidade de tráfico na sala.

Arranjo dos instrumentos

Princípios para arrumar os instrumentos no painel para beneficiar e facilitar o operador incluem os seguintes:

1. Os instrumentos devem ser agrupados de modo lógico para mostrar suas relações com o processo.
2. Os controladores e estações manuais de controle e suas indicações associadas devem ser próximos entre si, o mais prático possível.
3. Grupos semelhantes de instrumentos devem ser arrumados do mesmo modo, como ilustrado na Fig. 15.3.
4. Não devem ser colocados mais do que cinco instrumentos semelhantes em uma linha com espaçamento uniforme a

não ser que haja um código de cor ou outra diferenciação chocante entre os grupos vizinhos de instrumentos.

Apresentação da informação

Em plantas muito grandes e complexas, é conveniente apresentar a informação por exceção, para tornar a vida do operador mais fácil. Informação que seja rotineiramente apresentada ao operador deve ser limitada ao que ele necessita para suas tarefas de rotina; mais do que isso é uma distração. Se aparece problema, então um segundo nível de informação deve estar disponível para a área com problema. A hierarquia de displays de vídeo - visão geral, grupo e detalhe - que pode ser apresentada em sistema de controle distribuído é útil pois permite ao operador focalizar o que é importante em determinado momento.

Vermelho é a cor padrão para problema; verde é a cor padrão a normalidade. No trânsito, vermelho significa **parar** ou **perigo**. Tinta vermelha na base de um gráfico de lucros e perdas para um negócio é má notícia. Dizer que uma firma está operando no vermelho significa que ela está tendo prejuízo.

Por analogia, um painel de instrumento nunca deve mostrar qualquer lâmpada vermelha quando tudo estiver operando normalmente. Por exemplo, o vermelho não deve ser usada para uma lâmpada piloto para **ligado** como condição normal; deve-se usar outra cor, de preferência verde. Quando aparecer uma luz vermelha, ela deve ter somente um significado: **problema** e deve requerer uma ação corretiva imediata do operador.

Outra ilustração de engenharia de fatores humanos em apresentar a informação é o uso de diferentes sons de alarme para diferentes grupos de processo. Por exemplo, usar uma sirene para um grupo de sistemas, uma buzina para um segundo grupo; som repicado para um terceiro grupo.

Há recomendações da ISA e militares para fornecer informação mais detalhada sobre a engenharia de fatores humanos.

Padronização de equipamento

Quando se especificam os instrumentos para compra, é conveniente limitar os tipos de instrumentos e seus fornecedores, para padronizar os equipamentos dentro da planta. Neste contexto, padronizar pode significar as seguintes coisas:

1. Quando for tecnicamente razoável, deve-se manipular situações semelhantes em uma planta do mesmo modo. Onde apropriado, medir as várias vazões da planta com o mesmo tipo de instrumento, por exemplo, placa de orifício. Porém, outros fatores como custo, disponibilidade comercial, desempenho, características do fluido podem impedir a padronização e justificar a compra de instrumentos diferentes.
2. Quando for prático, deve-se especificar somente determinada marca de instrumento. Ter instrumentos de um único fabricante oferece as seguintes vantagens:
    a) o estoque de peças reservas fica menor, economizando dinheiro e espaço de almoxarifado.
    b) Muitos instrumentos são intercambiáveis de modo que a necessidade imediata de substituição pode ser satisfeita por um instrumento já existente.
    c) o pessoal de instalação e manutenção trabalha com equipamentos já conhecidos, tendo menos necessidade de manuais e fazendo mais rapidamente o trabalho.

3. Funções do operador de processo

As tarefas envolvem mais habilidade de conhecimento do que de manipulação. Elas são basicamente funções de tomada de decisão, envolvendo displays simbólicos. O conteúdo de trabalho físico é muito pequeno.

O operador do processo é parte do sistema de controle. As principais funções do sistema de controle e, portanto, do operador, dependem da natureza do processo: pode ser de monitorar as condições de alarme de um sistema simples, até conduzir as operações seqüenciais de um controle de batelada.

Uma operação sem erro garante uma produção máxima, aumento de segurança e uma diminuição de paradas do processo e manutenção dos equipamentos.

Há um consenso de que o operador exerce cinco tarefas principais, onde quatro são cognitivas (requerem alguns forma de tomada de decisão). As tarefas são: monitorar, rastrear, interpretar, planejar e diagnosticar

Monitorar

A varredura contínua de sinais de várias espécies e graus de importância e em vários locais da sala de controle e no campo. Os engenheiros dos fatores humanos classificam monitorar como uma tarefa de percepção motora, requerendo alerta, agilidade e imunidade à fadiga e ao tédio. A monitoração não envolve tomada de decisão, mas mesmo assim, esta tarefa é a mais fraca em termos de habilidades humanas. Muito pode e tem sido feito em termos de painel, tela, console e estação de trabalho, layout de equipamentos para melhorar o desempenho da monitoração do processo pelo operador

Rastrear

A verificação contínua dos valores das variáveis de processo, anotando mentalmente as leituras levemente fora dos valores normais e outras informações que chegam e que podem estar diferentes das normais. Estas informações, quando persistentes levam à interpretação.

Interpretar

Qualificar, estimar, pesar, classificar e filtrar a informação de entrada com o objetivo de separar flutuações aleatórias das tendências definidas. Identificar os valores verdadeiros dos ruídos, entre outros fatores, que não se enquadrem imediatamente bem com a operação normal do processo.

Planejar

Aplicar dados históricos (heurísticos) para estabelecer objetivos e ajustar as estratégias de controle que irão favorecer a segurança da planta, o uso eficiente dos recursos e sequenciar as tarefas em termos de prioridades, entre outros fatores, que possivelmente podem indicar problemas e alguma condição insegura no futuro.

Diagnosticar

Identificar imediatamente a fonte de problema quando ocorrer um falha e desenvolver apropriadamente as ações corretivas efetivas, contornando o problema, se possível, todos acoplados com um profundo sentido de timing.

Em relação à interpretação, planejamento e diagnose, pode-se ter combinações e permutações que o operador deve avaliar antes de tomar ações. Estes são os fatores que essencialmente diferenciam a pessoa treinada e experiente do novato. As funções do operador também dependem do status do processo. Se a condição está normal, ele apenas monitora e observa. Se as condições do processo são anormais, o operador deve administrar as falhas, que implica em:

1. detectar a falha,
2. diagnosticar a falha,
3. corrigir a falha.

Quando o sistema de controle se torna muito automatizado, a função de administração de falhas tende a ficar mais importante e é crucial para evitar perdas e de produção e acidentes.

4. Atributos Mentais do Operador

Um operador eficiente deve ter alguns atributos mentais inerentes. Estes atributos indicam por que alguns operadores são melhores que outros, assim como jogadores de futebol ou pilotos de automobilismo e porque algumas pessoas não são treináveis.

4.1. Automatização

Com a prática, uma determinada tarefa requer cada vez menos atenção do operador, de modo que ela se torna automatizada. A automatização pode ocorrer em vários níveis. As tarefas de monitorar, controlar e interpretar são as mais prováveis de ser automatizadas com a prática, enquanto o planejamento e a diagnose são se tornam automatizadas (Automatização aqui se refere ao operador e não deve ser confundido com automação de processo ou de máquina).

Do ponto de vista da neurologia, a automatização do operador é similar ao processo de decorar, como se decoram as tabelas de multiplicação. Automatizar as tarefas menos simples, como controlar e interpretar, embora difícil, deve ser o objetivo, permitindo que o operador dê atenção às importantes tarefas de planejar e diagnosticar.

Por causa de sua habilidade inerente de automatizar certas tarefas, o operador experiente desenvolve a habilidade de compartilhar tarefas e processar automaticamente partes das tarefas.

4.2. Modelo mental do operador

O operador de processo desenvolve naturalmente o modelo mental ou interno do processo e controle do processo. Isto é um atributo inerentemente mental possuído por toda pessoa normal e é particularmente importante para o operador de processo. O modelo mental é difícil de explicar em termos de engenharia.

Por exemplo, uma pessoa normal pode visualizar sua casa, a disposição do móveis da sala onde trabalha, de locais visitados no passado, caras de pessoas amigas vistas há vários anos atrás, e com prática, estas cenas podem ser preenchidas com muitos detalhes.

Trabalhando com um processo e seu sistema de controle na maioria dos dias do ano, o operador desenvolve sua imagem interna quase sem esforço. O operador pode projetar esta imagem em sua mente instantaneamente. Esta é a imagem na qual operador confia.

A importância do modelo mental interno é inegável, em termos de ações e confiança do operador. Há uma associação entre o modelo interno e a habilidade do operador prever mudanças e operações anormais. O operador que tem um modelo interno exato e efetivo é capaz de prever como o sistema irá funcionar. Quando os eventos ocorrem, eles podem ser comparados com esta previsão para ver se algo errado ocorreu. Esta habilidade é chamada de *modelo da rotina* e o operador a usa quando o processo está operando em condição normal. O operador eficiente atualiza continuamente em sua cabeça o estado corrente do sistema e onde o sistema está operando. Sem um modelo interno, o operador deveria se referir a tabelas e outras dados de suporte, requerendo tempo para fixar e absorver estes dados, quando avaliando a operação corrente do sistema.

4.3. Representação espacial

Além do modelo mental, o operador tem uma representação espacial do sistema. Para diferenciar estes dois tipos de representação, seja um processo onde o operador sabe que o nível do tanque está caindo. Se o operador armazenou um valor ou regra, ele mentalmente varre suas regras e escolhe aquela que diz: se o nível da água está caindo, a válvula de saída está aberta. Para um modelo espacial, o operador representaria a tarefa espacialmente como um sistema físico com locais e movimentos entre locais. Para achar a fonte de um problema como este, o operador iria mentalmente rodar uma simulação do processo até achar a solução. No exemplo, o operador iria imaginar um quadro com a água saindo do tanque através de uma válvula de saída.

Uma representação espacial de uma tarefa é um modo efetivo de armazenar informação. Representando espacialmente

uma tarefa de controle de processo, o operador deve representar locais físicos e deve saber como os sistemas podem interagir entre si. Assim, com conhecido e pensando de modo versátil, ele pode usar estratégias de resolver problemas para fazer inferências acerca do processo. Por exemplo, quando se pergunta a alguém, quantas janelas há em seu apartamento, este número é obtido mentalmente percorrendo o apartamento, como se estivesse no apartamento.

Fazer a representação espacial de um processo ou de uma informação é mais eficiente que armazenar e memorizar 10 000 regras.

5. Estudos do Operador

A lista dos itens relacionados diretamente com a operação do processo, incluídos os trabalhos de vigilância e controle manual, contem mais de 140 itens.

Estudos mostram que é particularmente difícil o controle de processos onde:

1. muitos displays e variáveis de processo são interdependentes,
2. a constante de tempo do processo é muito grande,
3. as variáveis importantes devem ser estimadas pelo operador, em vez de serem medidas por instrumentos,
4. as leituras dos instrumentos estão em pontos distantes entre si e devem ser associadas, obrigando o operador lembrar de uma medição enquanto vai ler a outra (memória de curto prazo).
5. operador tem um conhecimento imperfeito dos resultados de seu desempenho ou quando o conhecimento chega tarde,
6. processo básico é difícil de visualizar (e.g., reações químicas) ou contradiz hipóteses de bom senso ou é muito complicado para ser mantido na mente de uma vez.

Um aspecto da habilidade do controle de processo muito investigado é a amostragem da informação. Deve haver uma taxa mínima de amostragem, desde que seja usada uma largura de faixa do sistema modificado pela tolerância do erro (teorema de Shannon-Wiener). Mas, muitos fatores tendem a aumentar a taxa de amostragem. O comportamento da amostragem depende da incerteza do operador, do seu aumento com o tempo e do custo da amostragem. Ele não pode ser separado do problema de controle que resulta em questões da precisão requerida do controle, da penalidade do erro, do entendimento do operador do sistema, da natureza e previsibilidade dos distúrbios e os atrasos do processo.

Cinco fatores foram identificados como governando a taxa de amostragem:

1. banda de passagem
2. ruído
3. tolerância
4. previsibilidade

A banda de passagem é uma função da máxima taxa possível de variação do sinal. O ruído faz o sinal excursionar até próximo aos limites das tolerância. Os limites de tolerância dependem da importância da variável, sua possível taxa de variação e o ruído do sinal. A previsibilidade do sinal permite a extrapolação e reduz a necessidade de amostragem. A calibração do controle, que dá a relação entre a relação da variável manipulada e a variável controlada, ajuda a previsibilidade.

Não é recomendável o uso do display do controlador que mostra somente um desvio entre o ponto de ajuste e a variável medida. Tal display reduz grandemente a habilidade do operador aprender a características do sinal, tais como ruído, previsibilidade e calibração do controle.

O controle manual também foi muito estudado. Geralmente o operador deve monitorar o ponto de ajuste, alterando-o quando julgar necessário. A resposta da malha aberta (controle manual) é diferente da resposta da malha fechada (automático), mas com o tempo e experiência o operador aprende a imitar a ação automática.

A carga mental do operador foi estudada e foi analisada a tomada de decisão sob situações diferentes, tais como:

1. número de fatores na situação,
2. complexidade da compreensão de cada fator
3. memória
4. interdependência dos fatores
5. características de atraso da situação.

Um aspecto importante destes estudos é a luz que eles lançam no modo em que o operador rastreia o estado do processo e depois atualiza seu modelo baseado nele. Em geral, o operador tende a prever o futuro do estado do processo e depois faz apenas as leituras necessárias para confirmar que sua previsão estava certa.

Estes trabalhos tem importantes implicações nos displays. Um bom display permite ao operador conhecer o estado do processo como um todo, rapidamente e com um mínimo esforço.

O aparecimento e uso do computador no controle de processo provocou grandes mudanças no trabalho do operador. A alocação das funções para o computador e para o operador variam continuamente com o progresso da tecnologia.

Fatores sociais e de organização também foram investigados. Trabalhos revelam que o operador tende a operar muito no isolamento e seus resultados não são muito satisfatórios quando há envolvimento de sistemas. Procura-se encorajar a comunicação, tratando a sala de controle como um centro de controle e informação, que deve usar tudo em conjunto e projetando trabalhos que resultem em uma maior variedade, responsabilidade, oportunidade de aprender e completude. Há muito prejuízo quando comunicação é pobre entre os operadores controlando o processo em pontos diferentes.

6. Alocação de função

O enfoque clássico para a alocação de função é listar as funções que serão feitas pela máquina e pelo operador e usar a lista como guia. Porém, este enfoque requer alguma qualificação. O critério para atribuir funções para o operador é a conveniência do sistema e não a eficiência do operador, o que é levemente diferente. Outros fatores importantes incluem: motivação do operador, administração de falha, diagnose de falha, desligamento da planta e detecção do mau funcionamento.

7. Análise da tarefa

A análise da tarefa a ser feita precede logicamente outros estágios do projeto, como a escolha da interface ou o treinamento do operador.

Para escrever as instruções de operação da planta, é recomendável quebrar a tarefa em uma hierarquia de subtarefas.

Uma das dificuldades em qualquer análise de tarefa é conhecer quando parar de reescrever a atividade. A regra usada é parar de reescrever quando o produto da probabilidade p vezes o custo c da falha é aceitavelmente baixo. Quando uma ação é simples, ele requer pouco ou nenhum treinamento. Uma tarefa complexa requer muito treinamento. Este método é baseado na identificação do perigo, considerando sua magnitude e sua probabilidade.

A análise da **tarefa** quebra a tarefa em **operações** que são feitas de acordo com um **plano**. O plano mais simples é uma seqüência fixa, mas seqüências variáveis podem ser manipuladas e o treinamento pode ser muito importante para elas.

Um problema que os estudos da análise da tarefa revelam é a identificação do equipamento, como válvulas de bypass e de isolação em torno das válvulas de controle.

8. Display da informação

Assim que a tarefa é definida, é possível considerar o projeto dos displays. O display da informação é um problema importante, que é intensificado pelo aumento da densidade de informação nas salas de controle modernas.

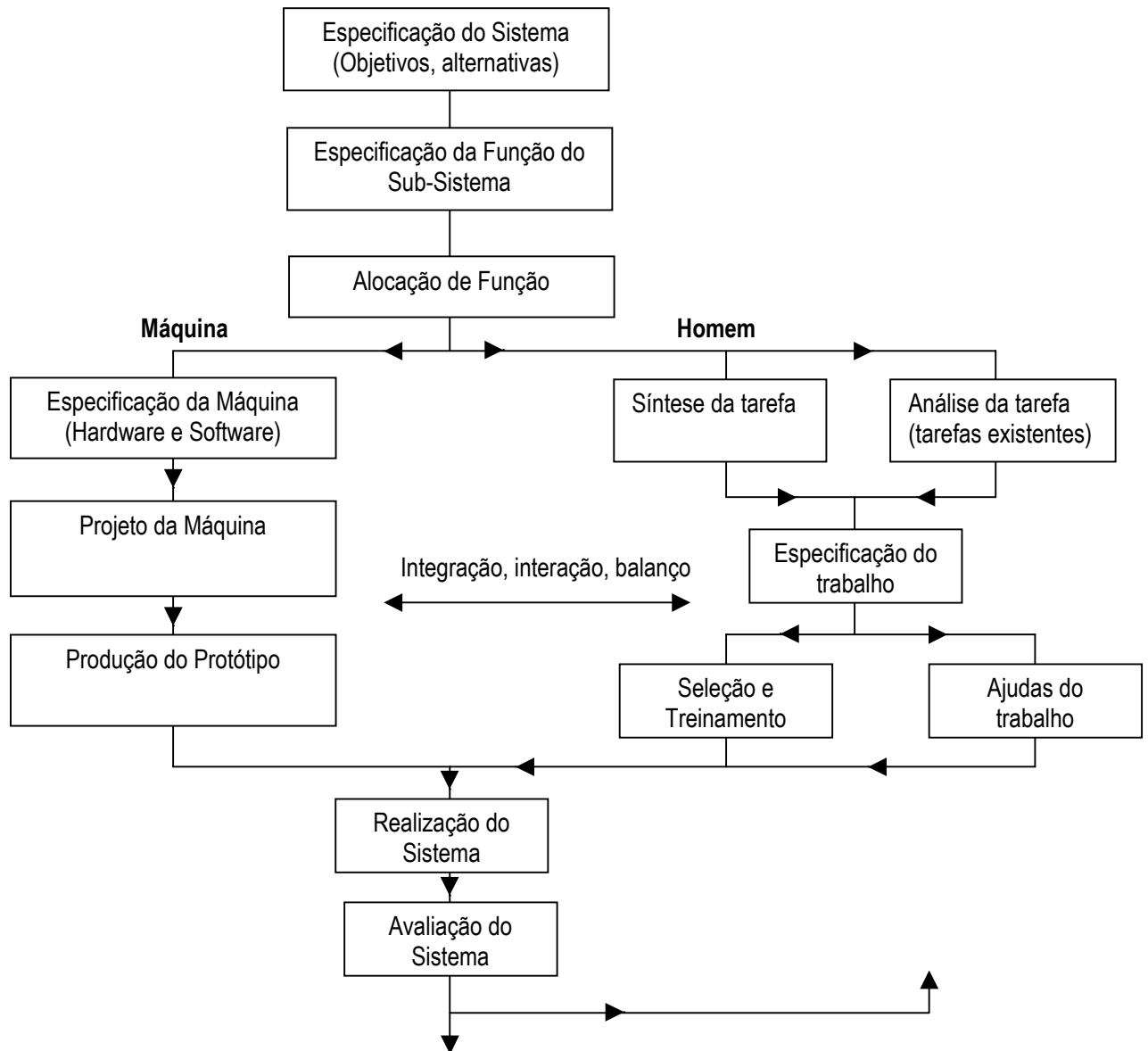



Fig. 17.4. Atividades dos fatores humanos no projeto do sistema

Tab. 15.2. Alguns displays para o operador de processo:

- Display de diagramas de fluxo e mímicos
- Display da medição corrente, outras variáveis e estados (medições indiretas e posições de válvulas)
- Display de tendências de medições, outras variáveis, estados
- Display dos parâmetros da malha de controle
- Display de alarmes
- Display de dados reduzidos (p. ex.,., histogramas, gráficos de controle de qualidade, parâmetros estatísticos)
- Display do estado do sistema (p. ex.,., diagramas mímicos, matriz de status, gráficos de superfície e polares)
- Display para o controle manual (preditivos)
- Display para análise de alarmes
- Display para controle seqüencial
- Display para planejamento
- Display para seqüencial de válvulas
- Display para verificação do sistema de proteção
- Display para operação anormal
- Display para detecção de falhas
- Display de comandos

O display tradicional é o painel de controle convencional. Monitores de computador agora apresentam ao engenheiro uma facilidade mas versátil, com gráficos coloridos de tendências e de valores históricos, listas codificadas em cores de alarmes, desenhos de diagramas de instrumentos e tubulações do processo, mensagens de autodiagnose dos instrumentos e dos equipamentos.

A primeira coisa que deve ser enfatizada é que o display é somente um meio para um fim, o fim sendo a melhoria do desempenho do operador em executar alguma função de controle. O projeto adequado desta função em seus aspectos dos fatores humanos é mais importante que os detalhes do display em si.

É importante também que o sistema de display tenha características de adquirir a informação rapidamente e ter capacidade de redundância de informação.

Há uma necessidade para o desenvolvimento de displays que permitam o operador ter uma noção do estado do sistema, de modo rápido e sem fazer esforço. O operador atualiza seu conhecimento do estado do sistema e faz uma previsão e antecipação de tarefas, usando um modelo mental do processo e amostrando leituras chave para verificar se ele está correto. Ele necessita de um display completo para permitir que ele faça isso.

São necessárias outras facilidades, como um sistema de alarme, baseados no enfoque de gerenciamento por exceção, que é essencial, quando a quantidade de informação é muito grande. Quando a condição excepcional é detectada, o operador deve tratá-la e para isso necessita de conhecer o estado do processo, que um display fornece. Um sistema de display deve também permitir ao operador usar sua habilidade de reconhecer padrões.

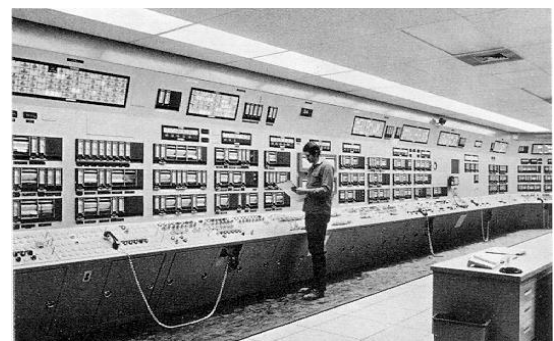



Fig. 17.5. Painel convencional com o operador em sua solidão característica

Instrumentos Convencionais

O painel convencional constitui um display global, em que os instrumentos tem um código espacial, do qual o operador pode obter informação em uma vista e em que ele pode reconhecer padrões. Estas vantagens são importantes e não devem ser descartadas.

Isto ocorre, porém, somente quando a densidade de instrumentos no painel não é muito grande. As vantagens desaparecem quando se torna necessário usar blocos

densos de instrumentos que são difíceis de serem distinguidos individualmente.

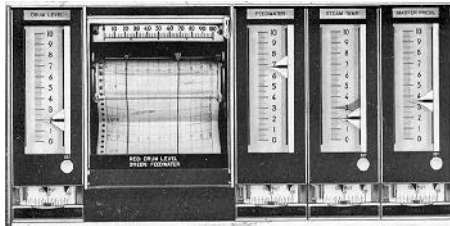



Fig. 17.6. Vista parcial de um painel convencional

Um display individual importante é o registrador com gráfico. Um registrador de tendência tem muitas vantagens sobre o indicador instantâneo. O registrador facilita o operador aprender as características do sinal e facilita sua amostragem da informação. O registrador é útil para o operador fazer ajustes grossos do ponto de operação, observar as condições de falha no processo.

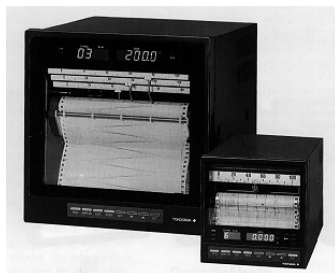



Fig. 17.7. Registrador convencional

Consoles de Computador

O console de computador apresenta um contraste marcante com a instrumentação convencional.

Algumas das características ergométricas importantes no display digital são:

1. deve haver uma ação especifica para obter o display,
2. não há código espacial e o código da informação requerido deve ser lembrado ou guardado,
3. somente uma tela é mostrada por vez,
4. somente o valor instantâneo da variável é mostrado.

Há uma mudança revolucionaria na interface do operador. Atualmente os consoles de computadores apresentam gráficos, símbolos do processo, registros de tendências etc.

As telas de computadores podem apresentar os seguintes tipos de display:

1. Planta
2. Grupo de malhas
3. Malhas
4. Único instrumento
5. Tendências da variável

Comparando o painel convencional com o console do computador, chega-se às seguintes conclusões:

1. o painel convencional é caro e perde muitas vantagens se a densidade da informação se torna muito alta.
2. o computador oferece facilidades adicionais.

Fig. 17.8. Console de computador de um sistema digital de controle distribuído

Sistemas de Alarme

Mesmo quando o processo com controle automático está nas suas condições normais, a atenção é focalizada na monitoração e manipulação das condições anormais e de falhas.

É função do sistema de controle evitar, sempre que possível, o desenvolvimento de condições que levarão ao desligamento (*shut down*) da planta e também, executar o desligamento, se necessário. A responsabilidade de evitar as condições de desligamento é também do operador. O principal auxilio automático que ele dispõe é o sistema de alarme. Os sistemas de alarme são um aspecto do controle de

processo extremamente importante mas curiosamente ignorado e freqüentemente insatisfatório.

Fig. 17.9. Monitor de vídeo do computador

Um sistema de alarme é uma característica normal dos sistemas convencionais de controle. Se uma variável de processo excede os limites especificados ou se um equipamento não está no estado determinado, uma alarme é assinalado. Podem ser usados sinais audíveis e visuais. O sinal audível é dado por uma buzina ou sirene e o sinal visual aparece em um painel especial, consistindo de numerosos pequenos painéis de vidro retangulares, com mensagens de alarme gravadas. Quando ocorre um novo alarme, a buzina soa e a luz fica piscando até que o operador tome conhecimento e pressione um botão. O painel permanece luminoso até que a condição de alarme seja eliminada pela ação do operador ou por outra alternativa.

Nos sistemas com computador de processo, o sistema de alarme é também uma característica normal. A varredura de grande numero de variáveis do processo para condições de alarme é uma função muito conveniente para o computador. Os limites especificados das variáveis do processo e dos estados do equipamento são varridas e os alarmes resultantes são indicados usualmente em ordem cronológica, na impressora ou na tela do monitor.

O computador de processo tem enorme potencial para o desenvolvimento de sistemas melhorados de alarme.

Há a escolha das variáveis que devem ser alarmadas. Não é mais necessário que elas sejam confinadas às variáveis do processo medidas pelos sensores. O computador pode fazer cálculos de uma ou mais medições e inferir os valores de outras variáveis, aumentando consideravelmente a capacidade do sistema.

Há ainda um numero de diferentes tipos de alarme que podem ser usados. Eles incluem o alarme absoluto, alarme de desvio, alarme de diferença, alarme de instrumentos, alarme de taxa de variação.

O nível em que os limites do alarme são ajustados é outro fator importante. Vários ajustes de limites de alarme podem ser feitos em uma única variável para dar diferentes graus de alarme, tais como de advertência, ação, perigo. Os alarmes assim gerados podem ser ordenados e mostrados de vários modos, principalmente em relação à importância da variável e o grau de alarme.

O sistema de alarme convencional é muito limitado pelas considerações de equipamento e é relativamente inflexível. O tipo de alarme é usualmente restrito ao alarme absoluto. O sistema de alarme através do computador é muito mais versátil.

Fig. 17.10. Anunciador de alarme

O sistema de alarme, porém, é freqüentemente uma das menos satisfatórias características do sistema de controle. O defeito mais comum é que há muitos alarmes e eles permanecem ativos por longos períodos. Como resultado, o sistema tende a ficar desacreditado pelo operador. Ele começa a não ligar para muitos sinais de alarme e pode mesmo desligar o dispositivo que assinala o alarme.

Os sistemas de alarme a computador também possuem falhas peculiares. É fatalmente fácil com um computador ter uma proliferação de tipos e graus de

alarme. Mais ainda, os displays mais facilmente usados, como os alarmes cronológicos na impressora ou na tela, são inferiores aos painéis convencionais, com relação ao padrão de reconhecimento.

O principal problema nos sistemas de alarme é a falta de uma clara filosofia de projeto. Idealmente, o sistema de alarme deveria ser projetado na base do fluxo de informação na planta e os instrumentos de alarme selecionados e localizados para maximizar a informação disponível para controle, considerando a confiabilidade da instrumentação. De fato, um sistema de alarme é uma coleção de subsistemas especificados por projetistas de equipamentos particulares com a adição de alguns alarmes.

Um sistema de alarme é uma ajuda para o operador. Uma questão importante, embora ignorada, é a ação requerida pelo operador quando ocorre o alarme.

Fig. 17.11. Tela de alarmes no controle supervisório

Há também problemas específicos que fazem os alarmes serem numerosos e persistentes. Um é a confusão de alarme e estado. Um estado simplesmente indica que um equipamento está ligado ou desligado. Um alarme, de modo diferente, indica que um equipamento está em um estado particular e deveria estar diferente, ou seja, o equipamento está desligado mas deveria estar ligado. Em muitas plantas, há numerosos estados que necessitam ser indicados, mas freqüentemente, não existem displays separados para os estados e são usados os displays de alarmes. Este problema pode ser solucionado, pelo uso de tipos separados de displays, por exemplo, amarelo para alarmes, branco para estados.

Fig. 17.12. Alarme individual no instrumento

Um problema similar é a relação dos alarmes com o estado do processo. O processo tem um numero de diferentes estados e um sinal que é um alarme em um estado, p. ex.,., operação normal, e não é um alarme genuíno em outro, p. ex.,., partida ou manutenção. Pode ser desejável suprir certos alarmes durante estados particulares. Isto pode ser relativamente fácil com um computador mas é difícil com um sistema convencional. Em processos batelada, geralmente há controle seqüencial. Enquanto não ocorrer falha, o controle da seqüência é usualmente direto e ininterrupto, mas a necessidade de permitir falhas em cada estágio da seqüência pode tornar o controle seqüencial complexo. Com operação seqüencial, portanto, o controle seqüencial e o alarme são quase inseparáveis.

9. Falhas do Processo

9.1. Sistema de Controle

A operação da planta de acordo com condições específicas é um aspecto importante na prevenção de perdas. O sistema deve ser mantido sob controle e deve-se evitar o aparecimento de desvios. O sistema de controle, que inclui a instrumentação e o operador de processo, tem uma participação crucial a executar.

A maioria dos sistemas de controle tendem a crescer quando aumenta o número de funções a serem executadas. Assim que os objetivos são definidos, as funções do subsistema podem ser especificadas. Os subsistemas estão relacionadas com a medição, detecção de alarme, controle de malhas, ação de desligamento (trip) e o que é tratado aqui, a alocação de funções entre o homem e a máquina ou entre o operador e a instrumentação.

O sistema de controle deve executar as seguintes funções distintas:

1. coleta de informações e dados do processo
2. controle normal
3. administração de falhas.

As informações coletadas e transmitidas pelo sistema podem ser usadas imediatamente ou a longo prazo para o controle normal do processo. A administração de falhas é diferente do controle normal pois trata de distúrbios mais severos do que os manipulados pelas malhas de controle.

Tipicamente em uma malha de controle tem-se

1. o ponto de ajuste estabelecido pelo operador, em torno do qual há uma banda proporcional ou uma região onde há controle automático;
2. nos limites desta banda há os pontos de alarme de baixa (L) e de alta (H), que chamam a atenção do operador para que ele assuma o controle manual do processo, fazendo a variável controlada retornar à banda de controle automático;
3. na maioria dos casos, o operador retorna o controle para automático, na minoria dos casos a variável controlada tende a se afastar mais ainda da normalidade, atingindo os pontos de desligamento automático (trip) da planta.

9.2. Características do Processo

O sistema de controle depende principalmente das características do processo que incluem os distúrbios, mas malhas de controle a realimentação negativa e o controle seqüencial.

Os processos estão sujeitos a distúrbios por causa das flutuações inevitáveis e às decisões de operação. Os distúrbios incluem:

1. disponibilidade e qualidade de matérias primas
2. disponibilidade e qualidade da operação
3. quantidade e qualidade do produto final
4. disponibilidade do equipamento da planta
5. condições ambientais.

Os distúrbios são devidos a:

1. ligações com outras plantas
2. fatores de desvio e de degradação
3. comportamento dos materiais do processo
4. defeitos dos equipamentos da planta
5. defeitos do sistema de controle.

A qualidade está relacionada com qualquer parâmetro relevante, como composição ou tamanho de partícula de um material, o nível de tensão de uma fonte de alimentação ou a especificação de um produto. O equipamento da planta pode ser desligado ou ligado. Ligações com outras plantas podem requerer mudanças na operação do processo. Fatores de desvio e de degradação podem ser entupimento de trocador de calor, decaimento do catalisador. Os materiais do processo introduzem distúrbios através de esteiras que se arrebentam, tubulações que entopem ou vazam. Defeitos do sistema de controle incluem falhas de instrumentos, ruído na medição, oscilação na malha de controle e erros do operador.

Certas tendências nas plantas modernas tendem a intensificar os distúrbios do processo, como aumento dos tamanhos da planta, existência de reciclas, eliminação de armazenamento e interligação de unidades.

Algumas características do processo tendem a tornar o controle da malha mais difícil, como:

1. problemas na medição
2. tempo morto
3. constantes de tempo muito pequenas ou grandes
4. reciclo
5. não linearidades
6. instabilidade inerente
7. fortes interações
8. alta sensibilidade (ganho)
9. altas penalidades
10. mudanças de parâmetros
11. mudanças de limites.

A medição é sempre um dos maiores problemas no controle de processo. A medição pode ser difícil de se fazer, pode ser inexata, conter ruído, ser inconfiável e pode ser disponível somente em forma de amostragem. Mesmo que a medição seja satisfatória em si, ela pode não ser a quantidade mais importante. O controle a realimentação negativa depende totalmente da medição da variável controlada.

O tempo morto ou tempo de atraso aumenta de vários modos no processo. Ele pode ser introduzido pelo tempo morto (atraso distância/velocidade) ou pelo tempo de se obter uma amostra e analisar no laboratório. O tempo morto torna o controle com realimentação negativa mais difícil e nenhum ajuste de controlador elimina o tempo morto. O tempo morto só pode ser diminuído através da reconfiguração do layout do processo.

Processos com constantes de tempo muito pequenas são difíceis de serem controlados, por que a velocidade de resposta requerida para as decisões e ações de controle é muito rápida. Porém, processos com constantes de tempo muito grandes também são difíceis de serem controlados, por causa da grande probabilidade de aparecer distúrbios e outras interações e da dificuldade de lembrar todos os fatores relevantes.

Os reciclos podem ser numerosos e diferentes, como o reciclo de um fluxo do processo no início do processo ou o reciclo interno dentro de um vaso.

Se um processo é não linear, seu comportamento tende a variar em função da carga do processo (quantidade de produto fabricado), suas respostas aos distúrbios e as ações corretivas diferem e se torna difícil sintonizar corretamente o controlador para toda a faixa de operação.

Certos processos, principalmente certos reatores químicos, são instáveis por si (runaway) ao longo de uma certa faixa de operação. Se o processo entra na região instável, as variáveis como pressão e temperatura aumentam exponencialmente, levando à explosão. Em outros casos, o processo entra em um ciclo limite e oscila entre limites definidos.

As relações entre as variáveis de entrada e saída de um processo são geralmente complexas e pode haver fortes interações. Uma entrada pode variar várias saídas e uma saída pode ser variada por várias entradas. Quando as variáveis de saída são controladas por malhas de controle isoladas, pode ocorrer severa interação entre estas malhas.

Alguns processos são muito sensíveis ou possuem ganhos muito elevados, aumentando a dificuldade de controle ou tornando muito altas as penalidades por sair fora dos limites de controle.

Mudanças dos parâmetros do processo tendem a reduzir a eficiência da sintonia do controlador e podem tornar o processo mais difícil de ser controlado.

As características do controle seqüencial de um processo incluem:

1. partida da planta
2. desligamento da planta
3. operação de batelada
4. mudanças de equipamentos
5. variações na qualidade do produto
6. variações na quantidade do produto
7. variações na disponibilidade do equipamento
8. operações de manipulação mecânica.

A seqüência na partida e desligamento de processos contínuos e de bateladas é óbvia, mas há outras operações dom características seqüenciais. Os processos contínuos podem contém equipamentos semicontínuos, principalmente quando há regeneração. As alterações deliberadas na qualidade ou quantidade do produto ou no estado do equipamento envolvem operações seqüenciais. Em geral, uma seqüência consiste de uma série de

estágios, alguns inicializados por eventos que ocorrem no processo e outros após um intervalo de tempo determinado.

Algumas outras características de processo que podem ser importantes incluem exigências para:

1. monitorar
2. controlar por realimentação negativa
3. otimizar o controle
4. programar
5. investigar o processo
6. comissionar a planta.

Monitorar é usualmente uma função muito importante do sistema de controle. A monitoração varia muito mas em processos com múltiplas unidades iguais repetidas ou em operações de batelada, ela pode ser muito grande.

O controle a realimentação pode ser inadequado se há dificuldades devidas à medição da variável controlada ou aos atrasos do problema e nestes casos pode-se usar o controle preditivo antecipatório. O controle preditivo antecipatório é aplicável quando os distúrbios não podem ser eliminados mas podem ser medidos e quando existe um modelo do processo que permite a previsão do efeito da variável manipulada e dos distúrbios na variável controlada.

Quando o processo em um ponto de operação ótimo variável com o tempo, a otimização contínua pode ser apropriada. Embora a otimização seja feita por razões econômicas, ela é caracterizada pela aderência a um conjunto de restrições. A operação dentro de um envelope de restrições ajuda a segurança do processo. Alguns processos possuem uma programação estabelecida, principalmente quando há bateladas.

Normalmente há uma novidade no processo ou no equipamento e ela requer uma investigação e uma coleta de dados.

A investigação é importante principalmente no comissionamento da planta.

9.3. Características do Sistema

As características do sistema de controle de processo incluem três estágios óbvios:

1. controle manual
2. controle analógico e
3. controle por computador ou digital.

Tal classificação pode ser insuficiente, pois ela não mostra a importância da instrumentação de medição e os displays e por que nem o controle analógico ou através de computador é um estágio homogêneo e por que ele não diz acerca da qualidade da engenharia de controle e de confiabilidade e dos fatores humanos envolvidos.

A sofisticação da instrumentação de medição afeta muito a natureza do sistema de controle, mesmo no estágio de controle manual.
Os displays disponíveis também variam muito.

O controle analógico implica o uso de controladores analógicos discretos ou isolados mas também pode envolver o uso de equipamentos especiais multipropósito. A maioria dos equipamentos deve servir para facilitar uma ou a combinação das seguintes funções:

1. medição
2. redução da informação
3. controle seqüencial.

A medição e a redução da informação melhora a informação disponível ao operador e ajuda-o a interpretá-la mas deixa o controle para o operador. O equipamento tipicamente inclui sistema de aquisição de dados e de varredura de alarmes. O controle seqüencial retira do operador a função de controle.
Outra diferença crucial está na implantação de um sistema de trip ou de proteção. Em alguns casos a função de segurança de desligamento é atribuída exclusivamente ao sistema automática; em outras é deixada para o operador.

O controle de computador não é um estágio de desenvolvimento homogêneo. Em alguns sistemas, a função do computador é limitada ao controle direto digital (DDC). O controle real da planta é executado pelo operador e o computador é simplesmente uma ferramenta poderosa adicional à sua disposição. Em outros casos, o computador tem um programa supervisório que toma a maioria das decisões de controle e altera os pontos de ajuste e o operador apenas monitora o sistema. Os dois tipos de sistemas são muito diferentes.

A qualidade da engenharia de controle teórico é outro fator que distingue um sistema e determina sua eficiência em tratar dos problemas de variação de carga, tempo morto e interações de malhas.

Igualmente importante é a engenharia da confiabilidade. Quando não se tem uma boa confiabilidade, as funções nominais automáticas se degradam e devem ser feitas manualmente ou não são feitas. Malhas de controle em atuação manual são conseqüência de sistema de controle automático pouco confiável.

A tendência atual em sistemas de controle é aumentar o grau de automação e deixar para o operação a importante função de monitorar o controle automático.

9.4. Projeto da Instrumentação

O projeto do sistema de instrumentação do processo se baseia muito na experiência anterior. A instrumentação do painel de controle e os sistemas de controle de operação de unidades como caldeira, compressor e coluna de destilação tendem a se padronizar.

Princípios básicos

Há alguns princípios básicos relacionados com os sistemas de controle, tais como:

Deve haver uma filosofia clara de projeto e especificações de desempenho e confiabilidade para o controle e a instrumentação. A filosofia deve tratar principalmente das

- características do processo e
- tipos de distúrbios que afetam o processo
- limites de operação da planta,
- definição das funções a serem executadas,
- alocação destas funções com os equipamentos e com o operador do processo
- administração das condições de falha.

A filosofia e as especificações devem cobrir

- medições
- displays
- alarmes
- malhas de controle
- sistemas de proteção
- intertravamentos
- válvulas especiais (e.g., alívio de pressão, bloqueio, retenção, isolação de emergência)
- equipamentos especiais
- computadores do processo.

O processo deve ser sujeito a análise crítica como o estudo dos riscos e operabilidade para descobrir perigos potenciais e dificuldades de operação.

Se um processo contem sérios perigos e requer um sistema de instrumentação complexo, ele deve ser reexaminado para determinar se os perigos podem ser eliminados na fonte.

Se o processo continua contendo sérios perigos, eles devem ser estabelecidos e deve ser usado sistemas de proteção adequados e de alta integridade.

Para os sistemas de pressão, é necessário usar proteção não apenas contra sobrepressão mas também contra outras condições, como subpressão, excesso de temperatura, derramamento de vaso.

As medições devem ser, sempre que possível, da variável de interesse direto. Se esta variável é inferida de outra medição, este fato deve ser conhecido. É importante que a medição seja feita no local correto.

Se a variável é crítica para a segurança do processo, a mesma medição não deve ser usada para controle e para alarme ou trip.

Se a variável é crítica para a compreensão do operador, é recomendável ter uma integridade adicional.

O sistema de alarme deve ter uma filosofia clara, que relaciona as variáveis alarmadas, número, tipos e graus de alarme, displays e prioridades de alarme com a falha do instrumento e a confiança do operador, a diferença entre alarme e status e a ação que o operador deve tomar.

As malhas de controle devem ter ação segura em falha, principalmente na perda da alimentação do instrumento e da válvula de controle.

As malhas de controle que adicionam material ou energia ao processo são críticas e é recomendável que tenham integridade adicional.

O sistema de controle como um todo e os instrumentos individuais devem ter a rangeabilidade necessária para manter

medição e controle adequados em baixa produção.

O sistema de controle deve ser projetado para as condições normais, bem como para as condições desligadas, como partida, desligamento.

As operações de partida depois de problema ou depois de desligamento tendem a ser perigosas.

O sistema deve possuir estações manuais de controle que permitam ao operador manipular válvulas em situações de falha do controle automático.

A falha do instrumento deve ser totalmente considerada. A confiabilidade de instrumentos críticos deve ser estabelecida quantitativamente, sempre que possível.

Os modos em que pode ocorrer falha de causa comum e os modos em que as intenções do projetista do instrumento podem ser frustadas devem ser considerados cuidadosamente.

Os instrumentos que tratam das falhas não podem deixar de operar por causa da falha em si. Se o operador de processo deve manipular a instrumentação durante a falha, ele não pode ser atrapalhado pelas condições resultantes da falha.

Os serviços (energia elétrica, ar comprimido, gás inerte) dos quais a instrumentação depende devem ter um grau de integridade adequado.

O sistema de instrumentação deve ser verificado regularmente e as falhas encontradas devem ser reparadas imediatamente. Ele pode se deteriorar, mesmo que o operador compense esta degradação. O operador de processo deve ser treinado para não aceitar instrumentação sem reparo por longos períodos.

A facilidade de detecção de falhas de instrumento deve ser um objetivo no projeto do sistema. O operador de processo deve ser treinado para detectar o mau funcionamento dos instrumentos como uma parte integral de seu trabalho.

Os instrumentos que devem operar apenas em condições de falha do processo e que podem ter uma falha invisível, requer consideração especial e recomendam-se testes periódicos de funcionamento.

Os instrumentos importantes devem ser verificados regularmente. Os intervalos dos testes devem ser estabelecidos a partir da análise de risco. Os testes não devem ser limitados aos sistemas de proteção e válvulas de alívio de pressão mas devem incluir válvulas de retenção, válvulas de isolação de emergência, medições, alarmes e malhas de controle.

Os testes devem corresponder às condições esperadas da operação. Deve-se considerar que um instrumento que passa em um teste ainda pode não operar satisfatoriamente na planta.

Válvulas de controle não são de vedação e mesmo as válvulas de isolação deixam passar algum fluido quando fechadas. Válvulas de controle com característica de igual percentagem não vedam, por teoria matemática. O posicionador da válvula também pode impedir que ela feche totalmente. Quando se quer isolação completa no processo, devem ser usadas válvulas de bloqueio ou especiais.

A válvula de controle pode colar na posição fechada ou emperrar na posição aberta e isso deve ser detectado e corrigido.

As práticas que os operadores tendem a desenvolver durante o uso da instrumentação devem ser consideradas, de modo que estas práticas não invalidem as hipóteses feitas no estabelecimento da confiabilidade.

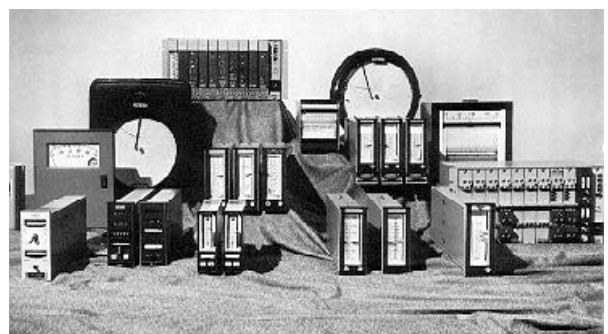



Fig. 17.13. Instrumentos convencionais de painéis

O fato do erro humano do operador deve ser considerado. A confiabilidade do operador de processo deve ser estabelecida quantitativamente, quando possível. Os princípios dos fatores humanos devem ser aplicados para reduzir o erro humano, sempre que possível.

Instrumentos individuais

É necessário também prestar atenção aos detalhes dos instrumentos individuais usados. Algumas características importantes são as seguintes:

O instrumento é uma fonte potencial de falha, através de uma falha funcional, falta de alimentação.

O uso de materiais de construção inadequados pode também provocar falha no instrumento. Os materiais devem ser escolhidos de conformidade com os fluidos do processo em contato. Os fabricantes de instrumentos tem somente uma idéia geral de suas aplicações.

Instrumentos contendo vidro ou plástico (visores de nível ou rotâmetros de vazão) podem se quebrar, provocando sérios vazamentos.

Instrumentos podem necessitar de proteção contra a corrosão ou erosão do fluido do processo e por isso devem ser usados selos.

As linhas de amostragem e de tomada de processo devem ter cuidados especiais, e quando necessário, devem ser usados sistemas de purga ou injeção de vapor.

Tab. 15.3. Fatores que afetam a falha do instrumento

1. Contexto do sistema:
   - aplicação (display, controle)
   - especificação (precisão, resposta)
   - definição de falha
2. Práticas de instalação
3. Fatores ambientais - materiais do processo
   - grau de contato (sala de controle, área)
   - fase do material (gás, líquido, sólido)
   - limpeza
   - temperatura
   - pressão
   - corrosão
   - erosão
4. Fatores ambientais
   - temperatura
   - umidade
   - pó
   - exposição à intempérie
   - vibração
   - impacto
5. Fatores operacionais
   - movimento
   - ciclagem
6. Práticas de manutenção

Os sensores de temperatura deveriam ser instalados pelados, para se ter uma resposta mais rápida, porém por proteção e comodidade, eles são protegidos por bulbos que são inseridos dentro de poços.

Vazão pulsante é um problema série para os medidores e provoca grandes erros. Este é um exemplo para mostrar que a replicação de instrumentos de medição não é a solução de alguns problemas que estão no próprio processo.

Fig. 17.14. Instrumentos de campo

Transmissores e reguladores depressão podem ser danificados por sobrefaixa e isso precisa ser considerado.

Instrumentos complexos como analisador, controlador de velocidade, transmissor de densidade, monitores de vibração e balanças de sólidos são geralmente menos confiáveis que os instrumentos convencionais de pressão, temperatura, vazão e nível. Isto requer maior atenção para estes instrumentos e um cuidado especial para as conseqüências de suas falhas, que são mais prováveis e freqüentes.

Diferentes tipos de instrumentos são confundidos e aplicados incorretamente. Por exemplo, válvula reguladora de pressão sendo usada como válvula de

retenção ou vice-versa; válvula de controle usada como válvula de bloqueio. O instrumento certo deve ser usado na aplicação certa, na posição certa.

A seleção da válvula de controle é muito importante. Há uma tendência de se privilegiar a instrumentação da sala de controle e dar pouca importância aos instrumentos do campo, principalmente a válvula de controle, que nem é considerada como instrumento (os estagiários que o digam!)

Uma válvula de controle deve ter os seguintes parâmetros corretos:

- tipo (gaveta, globo, esfera, borboleta, diafragma),
- capacidade nominal (Cv),
- rangeabilidade (relação da máxima sobre a mínima vazão),
- característica inerente (relação entre vazão e abertura, ambas em percentagem).

A válvula deve ter não apenas a ação correta (falha segura aberta ou fechada ou ar-para-fechar ou ar-para-abrir) mas também pode ter limites de abertura adequados. Na válvula devem ser consideradas a pressão e temperatura do processo.

Os instrumentos devem sobreviver e operar no local onde ele está instalado e por isso deve ter uma classificação mecânica de invólucro adequada.

Os instrumentos elétricos não podem ser uma fonte potencial de ignição ou explosão e por isso deve ter uma classificação elétrica compatível com a classificação do local onde ele está instalado.

9.5. Falhas de Instrumentos

As plantas de processo dependem de sistemas de controle complexos e as falhas de instrumentos tem sérios efeitos.

Os instrumentos de medição podem ser analógicos ou digitais. A malha típica medição envolve

1. o sensor, que depende basicamente da variável medida
2. instrumentos de condicionamento de sinal, como transmissor, filtro, amplificador, linearizador
3. instrumentos de display como indicador, registrador, totalizador
4. alarmes opcionais e indicadores de status
5. desligamento automático opcional
6. instrumento de decisão, como controlador ou chave
7. elemento final de atuação, como válvula, motor, damper, cilindro.

A maioria das falhas não resulta em sério problema para a planta.

A maioria das falha é detectada pelo operador, que chama o instrumentista para consertar o instrumento.

A falha de instrumento mais caro, com proteções adicionais, é menos provável. Instrumentos complexos e especiais, diferentes do padrão do fabricante, geralmente é menos confiável e há maior probabilidade de falha.

O meio ambiente é um fator que influi na probabilidade de falha.

Há dois tipos de dados de falhas de instrumentos: falhas observadas durante (a) testes e (b) durante operação real na planta.

Com relação ao fator de estar ou não em contato com o fluido do processo, os estudos mostram que os instrumentos que estão em contato com o fluido do processo tem uma maior taxa de falha, com exceção da válvula de controle e transmissor de temperatura.

Outro enfoque, é considerar o fluido do processo limpo e sujo. Os estudos mostram que os instrumentos em contato com fluido sujo e hostil tem uma taxa de fala de 4 a 5 vezes maior que aqueles em contato com fluido limpo.

Tab. 15.4. Modos de Falhas de alguns instrumentos

Modo de Falha do Instrumento	Nº falhas
Válvula de Controle	
Vazamento	54
Movimento errado:	
Colando (mas movendo)	28
Superdimensionada	7
Não abrindo	5
Não sentando plug na sede	3
Entupida	27
Falha para bloquear vazão	14
Plug apertado	12
Falha no diafragma do atuador	6
Válvula engraxada	5
Falhas genéricas	27
Termopar	
Falha do elemento	24
Falha no poço	11
Falha genérica	20

(Fonte: Less, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, p. 346)

Modos de Falha

A taxa de falha geral do instrumento dá somente uma informação limitada. Às vezes, é necessário saber de seu modo de falha, que pode ser classificado de vários modos, sendo os mais importantes:

1. condição,
2. desempenho
3. segurança
4. detecção

A falha de condição enfatiza a causa da falha. Exemplo de falha de condição: falha de foles em um medidor de vazão ou um diafragma quebrado em uma válvula de controle.

A classificação de desempenho enfatiza o efeito da causa. Exemplo de desempenho: erro de zero em um medidor de vazão ou a passagem de fluido através de uma válvula fechada.

Às vezes, não há distinção nítida de falha de condição e de desempenho: por exemplo, o bloqueio de uma válvula de controle pode ser considerada indistintamente como de condição e de desempenho.

Tab. 15.5. Taxas de falha de malhas de controle

Falhas de malhas (por tipo)	Falhas/ano
PIC	1,15
PRC	1,29
FIC	1,51
FRC	2,14
LIC	2,37
LRC	2,25
TIC	0,94
TRC	1,99
Falhas de malhas (por elemento)	**% falhas**
Sensor/amostragem	21
Transmissor	20
Linha de transmissão	10
Indicador ou Registrador	18
Controlador	7
Válvula de controle	7
Outros	17

(Fonte: Less, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, p. 349)

Tab. 15.6. Efeito do ambiente na confiabilidade do instrumento: instrumento em contato ou não com o fluido do processo (Less, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, p. 345)

Instrumento	Número em Risco	No Falhas	Falhas/ano
Instrumento em contato com o fluido do processo	**2285**	**1252**	**1,15**
Medição de pressão	193	89	0,97
Medição de nível	316	233	1,55
Medição de vazão	1733	902	1,09
Detector de falha de chama	43	28	1,37
Instrumento não em contato com o fluido do processo	**2179**	**317**	**0,31**
Posicionador de válvula	320	62	0,41
Válvula solenóide	168	24	0,30
Transdutor corrente para pressão	89	23	0,54
Controlador	1083	133	0,26
Chave de pressão (pressostato)	519	75	0,30
Válvula de controle	**1330**	**359**	**0,57**
Medição de temperatura	**2391**	**326**	**0,29**

Tab. 15.7. Efeito do ambiente na confiabilidade do instrumento: instrumento em contato com fluido limpo ou sujo. (Less, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, p. 345)

Instrumento	**Número em Risco**	**Número Falhas**	**Taxa falha falhas/ano**
Válvula de Controle			
Fluidos limpos	214	17	0,17
Fluidos sujos	167	71	0,89
Transmissor de pressão diferencial			
Fluidos limpos	27	5	0,39
Fluidos sujos	90	82	1,91

Tab.15.8. Estimativas de probabilidade de erro usada na segurança do reator da Comissão de Energia Atômica EUA

P	Atividade
10^{-4}	Seleção de uma chave vital em vez de uma chave não-vital (este valor não inclui o erro de decisão, onde o operador interpreta errado a situação e acredita que a chave vital é a escolha correta)
10^{-3}	Seleção de uma chave (ou par de chaves) diferentes na forma ou local para a chave desejada (ou par de chaves), assumindo nenhum erro de decisão. Por exemplo, o operador atua uma grande chave em vez de uma pequena chave
3×10^{-3}	Erro humano genérico de administração, p. ex.,., lendo errado a etiqueta e selecionado a chave errada
10^{-2}	Erro humano genérico de omissão, onde não há indicação na sala de controle do estado do item omitido, p. ex.,., falha de voltar manualmente uma válvula de teste manualmente operada para a configuração certa após a manutenção
3×10^{-3}	Erros de omissão, onde os itens sendo omitidos são agrupados em um procedimento em vez de um fim, como acima
3×10^{-2}	Erros aritméticos simples com auto-verificação mas sem repetir o calculo refazendo-o em outro pedaço de papel
1/x	Dado que um operador está acessando uma chave incorreta, ele seleciona uma chave de aparência similar, onde x é o número de chaves incorretas adjacentes à chave desejada
10^{-1}	Dado que um operador está acessando uma chave de válvula operada por motor, ele falha de notar que a lâmpada indicadora já está no estado desejado e simplesmente muda o estado da chave sem reconhecer que ele tinha selecionado a chave errada.
~1,0	Se um operador falha de operar corretamente uma de duas chaves ou válvulas intimamente acopladas em um passo de procedimento, ele também falha de operar corretamente a outra
~1,0	O inspetor ou encarregado falha de reconhecer o erro inicial do operador, sem realimentação do erro no painel anunciador
10^{-1}	Pessoal de turno diferente falha em verificar a condição de verificação do equipamento, sem instrução escrita ou sem checklist.
5×10^{-1}	Monitor falha de detectar a posição indesejada de válvulas, durante a inspeção de rotina, assumindo que não é usada checklist
0,2 a 0,3	Erro genérico dado em nível de stress muito alto onde as atividades perigosas estão ocorrendo rapidamente
$2^{(n-1)}x$	Dado um stress de tempo, como em tentar compensar um erro feito em uma situação de emergência, a taxa de erro inicial, x, para uma atividade dobra para cada tentativa, n, após uma tentativa anterior incorreta, até a condição limite de um a taxa de erro de 1,0 é atingida ou até expirar o tempo. Esta condição limite corresponde ao indivíduo ficar completamente desorganizado e ineficiente.
~1,0	Operador falha de agir corretamente nos primeiros 60 segundos após um distúrbio em uma condição de extremamente alto stress
9×10^{-1}	Operador falha de agir corretamente após os primeiros 5 minutos após um distúrbio em uma condição de extremamente alto stress
10^{-1}	Operador falha de agir corretamente após os primeiros 30 minutos após um distúrbio em uma condição de extremo stress
10^{-2}	Operador falha de agir corretamente após as primeiras horas após um distúrbio em uma condição de alto stress
x	Após 7 dias após um grande distúrbio, há uma recuperação completa para a taxa normal de erro, x, para qualquer tarefa (x)

A classificação de segurança divide as falhas em falha segura e falha perigosa

Tipicamente, 33% das falhas são de modo falha perigosa e 66% são de modo falha segura.

A falha de detecção distingue entre falha revelada e não revelada. Uma falha revelada indicada sua presença e por isso é detectável. Uma falha não revelada não é imediatamente detectável mas é usualmente detectada por um teste de prova (proof check). Estatística mostra que 50% das falhas perigosas são não reveladas.

As falhas de condição e de desempenho são os principais tipos; os modos de segurança e de detecção podem ser obtidos dos outros e do contexto do instrumento no sistema.

As falhas podem ser descritas por um código alfanumérico com 4 letras e números.

A primeira letra indica se a falha é falha segura (S) ou perigosa (D) ou um desvio de calibração na direção perigosa (C).

A segunda letra é o número de equipamentos afetados pela falha de modo adverso. Os números variam de 1 a 5:

1. trip principal
2. alarme de máximo
3. alarme de mínimo
4. indicador
5. lâmpada piloto

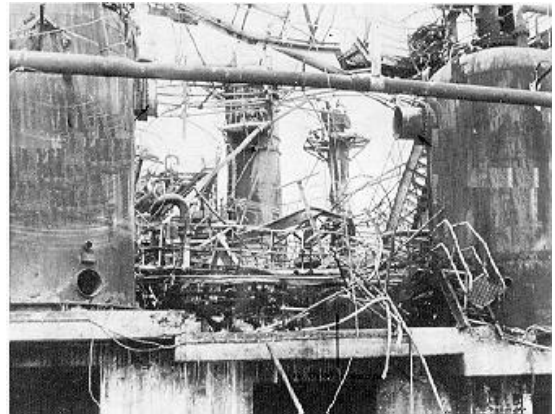
A terceira letra indica se a falha é revelada (r) ou não revelada (u - unrevealed).

O quarto é o número do equipamento que revela a falha e tem a mesma filosofia que o número de equipamentos afetados pela falha.

Taxas de falhas de malhas

As taxas de falhas de malhas podem ser calculadas das taxas de falhas dos instrumentos constituintes.

Também aqui, somente uma pequena proporção de falhas de malhas resultam em sérios problemas para a planta ou para provocar trip. Estatísticas mostram que em uma grande planta química, somente três falhas de malha de controle resultam em trip e que a freqüência de falhas era uma falha em cada 20 anos por malha.

Fig. 17.15. Resultado de acidente (Flixborough, U.K.)

Detecção de falha

Se ocorrer uma falha do instrumento, é importante que ela seja detectada. A facilidade de detecção de uma falha de instrumento depende muito se a falha é revelada ou não revelada. Falha não revelada é detectada geralmente somente por teste de prova.

Uma falha de instrumento que seja revelada é usualmente detectadas pelo operador de processo, ou pelo comportamento do instrumento em si ou pelo efeito da falha no sistema de controle. Foram desenvolvidos sistemas para detectar a falha, pelo operador ou pelo computador de processo.

A detecção de falha de instrumento com saída binária, como de chave que só pode estar ligada ou desligada, é difícil por que a falha é não revelada mas é importante por que tais instrumentos freqüentemente fazem parte do sistema de trip ou de alarme.

Uma solução é usar instrumento com saída analógica no lugar da chave, quando a falha ficaria revelada. Foram também desenvolvidas outras técnica de auto verificação, incluindo saída binária múltipla e verificação do sensor elétrico.

Por exemplo, em um sistema de medição de nível com 10 pontos, tem-se uma série de saídas binárias. Neste sistema, quando o nível do líquido estiver em 5, esta saída dá positivo e se a saída do ponto 4 estiver desligada, há falha neste ponto.

Fig. 17.16. Sistema supervisório com autodiagnose

A falha de um termopar é não revelada, pois quando ele se rompe, ele continuando captando uma militensão que pode ser confundida com a gerada pela diferença de temperatura. Assim, na medição de termopar, se usa um circuito extra que revela o rompimento do termopar, levando a indicação de temperatura para o início ou o fim da escala.

O grande potencial da instrumentação com microprocessador é o desenvolvimento de técnicas de autodiagnose e autoteste.

9.6. Administração de Falhas

A administração de falhas pode ser dividida em três estágios:

1. detecção,
2. diagnose
3. correção ou desligamento

Para a detecção, o operador tem a ajuda do sistema de alarme, enquanto a correção da falha, na forma de desligamento, pode ser automática, mas a diagnose e a correção da falha são funções do operador.

Detecção de falha

O sistema de alarme representa uma automação parcial da detecção da falha. O operador ainda tem muito a fazer para detectar as falhas.

Isto é parcialmente um assunto das entradas sensores adicionais, tais como a visão, audição do operador. Mas é também parcialmente devido a sua habilidade de interpretar a informação, de reconhecer padrões e de detectar erros de instrumentos.

Diagnose de falha

Uma vez que a falha é detectada, o próximo passo é diagnosticar a sua causa. Isto é usualmente deixado para o operador. O tamanho do problema da diagnose pode variar consideravelmente com o tipo da unidade.

Há vários modos em que o operador pode enfocar a diagnose de falha. Vários trabalhadores observaram que um operador parece responde somente ao primeiro alarme que aparece. Ele associa isso com uma falha particular e responde usando alguma regra pronta. Isto é uma estratégia incompleta, embora seja bem sucedida na maioria dos casos, especialmente quando a falha que ocorre é repetitiva.

Um enfoque alternativo é o reconhecimento de padrão do display do painel de controle. o padrão pode ser estático ou dinâmico. O padrão estático é obtido pela observação instantânea dos displays, como uma fotografia. O operador então tenta casar este padrão com os padrões do modelo para falhas diferentes.

O reconhecimento do padrão dinâmico é uma alternativa mais complexa, envolvendo o casamento do desenvolvimento da falha durante um período de tempo.

Outro enfoque é usar algum tipo de arvore de decisão mental em que o operador considera as trajetórias da arvore, tomando ramos particulares em função das leituras dos instrumentos.

Outro método é a manipulação ativa dos controles e a observação dos displays para determinar a reação da planta a certos sinais.

Parecido com isso é a situação onde nenhuma falha foi detectada mas o operador está pronto para controlar o processo quando ele observa alguma característica diferente e continua sua manipulação para explorar esta condição.

Qualquer que seja o enfoque escolhido pelo operador, a diagnose da falha na sala de controle depende muito das leituras dos instrumentos. Por isso, é necessário o operador verificar se os instrumentos estão corretos. O problema de verificação da detecção de mau funcionamento é

importante, pois está associado com a diagnose de falhas.

Os diferentes métodos de diagnose de falha em implicações importantes relacionadas com os displays e o treinamento do operador. O painel convencional ajuda o reconhecimento de padrões estáticos, enquanto o console de computador não. Os registradores de gráfico ajudam o reconhecimento dos padrões dinâmicos e das falhas dos instrumentos.

A diagnose das falhas não é uma tarefa fácil para o operador.

Correção da falha e desligamento

Quando uma falha é diagnosticada, é usualmente possível tomar alguma ação corretiva que não envolva o desligamento total da planta.

Em alguns casos a correção da falha é trivial, mas em outros, como a operação de uma seqüência complexa de válvulas, é difícil. As instruções de operação são escritas para estas atividades, mas as vezes isto é uma área inexplorada.

A correção de falha pode ser feita pelos sistemas de intertravamento, que podem ser desenvolvidos em programas de computador.

Fig. 17.17. Operador atuando no processo

Algumas condições de falha, porém, requerem o desligamento da planta. Embora a administração da falha tenha sido descrita em termos de estágios sucessivos de detecção, diagnose e correção, no desligamento de emergência usualmente pouca diagnose é envolvida. O desligamento é feito diretamente, quando é detectado que um limite critico do processo foi ultrapassado.

Há filosofias diferentes no problema de alocação de responsabilidade de desligamento da planta sob condições anormais. Em algumas plantas, o operador cuida das condições de falha com pouca ajuda automática, e ele deve garantir a operação segura e econômica. Em outros sistemas, os sistemas automáticos de proteção desligam a planta, quando ela se aproxima de alguma condição insegura e o operador tem a tarefa econômica de evitar o desenvolvimento de condições que exijam o desligamento.

Em uma planta sem sistemas de proteção, o operador é efetivamente responsável de manter a planta rodando, se possível, mas deve desligar a planta, se necessário. Isto tende a criar no operador um conflito de prioridades. Usualmente, ele tentará manter a planta rodando se ele possivelmente pode e pode tender a desligá-la muito tarde. Há uma tendência humana de ser otimista e de apostar que sempre dá certo. Há muitas situações praticas comprovando este fato.

Fig. 17.18. Operador atuando no processo

O enfoque alternativo é usar sistemas de proteção automáticos para proteger a planta contra perigos sérios. A escolha é feita na base da avaliação quantitativa do perigo. Esta filosofia transfere para o operador a tarefa essencialmente econômica de manter a planta rodando.

Embora o uso de sistemas de proteção esteja aumentando, o operador de processo usualmente retém alguma responsabilidade pelo desligamento seguro da planta. Há várias razões para isso. O principal motivo é que a integridade dos sistemas de proteção não é ideal.

Os sistemas de proteção possuem limitações, mesmo os de alta integridade. É muito difícil prever e projetar todas as falhas possíveis, particularmente as falhas resultantes de combinação de eventos. É verdade que mesmo se uma condição do processo ocorre de uma fonte inesperada, o sistema de proteção ainda manipula esta falha de modo seguro. Mas, existem eventos residuais, usualmente de baixa probabilidade, contra os quais não há proteção, ou porque não foram previstos ou porque a sua probabilidade foi estimada menor que o nível limite estabelecido pelo projetista.

Outro problema é que o sistema protetor é somente parcialmente efetivo contra certos tipos de falhas, principalmente falhas incorporadas. Neste evento, a instrumentação pode iniciar as seqüências de *blow down, shut off* e *shut down*, mas enquanto isso pode reduzir o escape perigoso de material, não o elimina.

Outra dificuldade é que muitos perigos ocorrem durante as condições transitórias de partida e desligamento e não acontecem durante as condições normais. Um sistema de proteção bem projetado considera os regimes transitórios e as operações continuas.

Mesmo com sistemas de proteção automáticos, portanto, o operador de processo tende a reter uma função residual de segurança.

Detecção de Mau Funcionamento

Outro aspecto da administração de falha pelo sistema de controle é a detecção de defeitos, principalmente os defeitos iniciais nos equipamentos e nos instrumentos da planta. Estes defeitos são diferentes dos alarmes, pois embora eles constituam uma condição de falha de algum tipo, eles não são um alarme formal.

Os sistemas de controle não monitoram os defeitos; isto é uma função exclusiva do operador. Em geral, os defeitos podem ser detectados da condição de um instrumento ou de seu desempenho. A detecção da condição é feita, por exemplo, pela observação de vazamentos nas linhas de tomada de pressão diferencial do transmissor ou pelo travamento de uma válvula de controle. A detecção pelo desempenho é exemplificada pela observação na sala de controle de um sinal excessivamente sem ruído do transdutor ou de uma inconsistência entre a posição da válvula e a vazão medida pela válvula. A maioria das verificações na condição do instrumento requer a ida do operador próximo ao instrumento e usar um de seus sentidos para detectar o defeito. A maioria das verificações no desempenho do instrumento pode ser feita da sala de controle, usando os displays e baseando-se na informação redundante.

O registrador com gráfico é uma ferramenta muito útil para fornecer informações ao operador acerca de defeitos de instrumentos ou de equipamentos.

Alguns tipos de informação redundante:

1. expectativa *a priori*
2. sinais passados de instrumentos
3. instrumentos duplicados
4. outros instrumentos
5. posição da válvula de controle.

Assim, pode-se esperar, *a priori* , que a leitura de um instrumento não esteja em zero ou no fundo de escala, que haja um zero *vivo* em vez de um zero *morto*, que haja um certo nível de ruído, que a velocidade de variação não exceda certo valor e que seja possível se mover dentro de toda a escala do instrumento. Em base destas expectativas, o operador poderia diagnosticar defeitos nos sinais.

Os gráficos dos registradores podem apresentar: leitura normal, leitura de zero, leitura constante, leitura errática, leitura deslocada repentinamente, leitura limitada abaixo do fundo de escala, desvio da leitura, leitura oscilante, leitura com características diferentes.

Pode não ser possível ao operador decidir a priori o que constitui uma expectativa razoável. Neste caso, ele deve usar seu conhecimento da faixa de variação da medição do instrumento no passado. A comparação dos dois comportamentos pode indicar um defeito.

Se há um instrumento duplicado, a detecção de que um dos instrumentos está defeituoso é direta e simples, embora possa não ser possível dizer qual é o correto. Porém, a duplicação de instrumentos não é comum em instrumentação. É mais comum a

duplicação indireta; por exemplo, pode-se medir as vazões de dois fluidos que se misturam e a vazão da mistura. A comparação das vazões pode indicar defeito em algum dos medidores.

Alguns tipos de variação no sinal são fáceis de serem detectados automaticamente; outros são difíceis. Aqui o operador humano com sua habilidade e experiência de reconhecer padrões visuais tem sua vantagem.

Há um grande numero de modos em que as leituras de instrumentos servem como verificação. Alguns deles são a duplicação indireta, os balanços de massa e de calor, as relações de vazão e queda de pressão e os estados consistentes (certas variáveis estão relacionadas com outras e em um dado estado de operação devem permanecer dentro de certas faixas de valores).

A posição das válvulas de controle também fornecem um meio de verificação das medições. Isto é mais obvio para medições de vazão, mas não significa que só se aplica a elas.

Outro tipo de informação que o operador também usa na verificação de instrumentos é o seu conhecimento das probabilidades de falha de instrumentos diferentes. Ele usualmente sabe dos problemas passados, causados pelas condições adversas do processo, da qualidade do instrumento.

A detecção dos defeitos dos instrumentos pelo operador é importante, porque os defeitos tendem a degradar os sistemas de alarme e introduzir dificuldades nas malhas de controle e nos diagnósticos de falhas. A detecção de defeitos dos instrumentos é deixada para o operador e é essencial que ele tenha as facilidades para fazer isso. Isto inclui displays convenientes e pode estender ao uso de computadores digitais.

Projeto da Operação

O projeto do trabalho envolve o arranjo das tarefas individuais que o homem tem de fazer dentro do que ele é capaz de fazer e que gosta de fazer.

Quando o sistema de controle se torna mais automático, o trabalho ativo de controle do operador é reduzido e sua função se resume na monitoração. Porém, a monitoração passiva não é função bem feita pelo homem.

Há, pois, um problema potencial do projeto do trabalho. Uma entrada deste problema é a considerar porque o homem é parte do sistema de controle global. O operador normalmente é considerado como o componente usado para fazer os reparos do sistema de controle. Ou seja, ele deve ter funções relacionadas com a manutenção da planta rodando, administrando as falhas e detectando os defeitos, que são tarefas que requerem habilidade e motivação do homem.

Este enfoque requer mais atenção do operador e ele deve receber treinamento e auxilio necessários. O treinamento deve enfatizar a importância de rodar a planta, sem tolerar a degradação dos equipamentos. O auxilio do trabalho inclui o uso de computador digital e deve assisti-lo na administração das falhas e na detecção dos defeitos.

Diagnose de Falha

A diagnose de falha é uma atividade especialmente importante do operador do processo. A diagnose é feita usualmente pelo operador no painel de controle. A nível de treinamento isso pode ser feito usando-se um simulador de processo.

Há várias estratégias para diagnosticar falhas, como

1. o reconhecimento de padrão de falha, olhando primeiro nos alarmes e então considerando as possíveis falhas consistentes com eles,
2. a leitura de instrumento e o uso da heurística baseada nas funções da planta.
3. uso de arvores de decisão e a matriz de falhas e sintomas.

A diagnose de falha se baseia fortemente nas leituras dos instrumentos e por isso estas leituras devem ser precisas e confiáveis. Deve haver treinamento para verificação e leitura de instrumentos. Deve ser dado ênfase na determinação do valor verdadeiro do parâmetro mais que na decisão de falha do instrumento. Os seguintes princípios estão envolvidos na verificação:

1. observação direta - representa a verdade.

2. um relatório externo, tal como a leitura de um visor de nível é uma observação direta se o procedimento correto para a leitura é seguido.
3. dois instrumentos de controle que coincidem representam a verdade.
4. os custos (tempo, esforço, perigo) devem ser considerados e a rota mais barata para a verdade deve ser tomada.
5. somente indicadores independentes de um mesmo parâmetro podem ser usados para verificação.
6. onde somente dois indicadores de um parâmetro são disponíveis, o mais confiável dos dois é o assumido.
7. um instrumento individual pode se mostrar como defeituoso pelo comportamento anormal.

10. Erro Humano

A aplicação da engenharia da confiabilidade para o projeto e operação da planta de processo, em geral e o sistema de controle, em particular tem conduzido inevitavelmente para métodos de estabelecimento da confiabilidade do operador de processo. Esta necessidade é reforçada pelo fato que em analises de acidentes com grandes proporções, a causa é freqüente atribuída a falhas humanas.

Em relação as funções de controle a não confiabilidade humana é aproximadamente sinônimo de erro humano, mas a morte repentina ou incapacidade, tal como ataque cardíaco, pode ocorrer e isso deve ser considerado em relação às funções cruciais.

O erro humano freqüentemente figura como um grande fator em analises de incidentes. Quando uma falha ocorre, há freqüentemente um inquérito administrativo para determinar a causa e a atribuição de erro humano é notória. De fato, o incidente ocorreu em um conjunto especifico de circunstancias envolvendo homens, maquinas, sistemas e procedimentos, fatores físicos e sociais e suas interações. Usualmente, o erro é mais verificável do que outro associação que é responsável por algum aspecto da situação do trabalho.

O relatório de erros nos sistemas homem-máquina é normalmente deficiente, porque os sistemas de relatório são projetados essencialmente para dar informação sobre falha do equipamento. Estudos mostram que o homem está envolvido entre 20 e 53% de todos os defeitos dos sistemas estudados.

A contribuição de erro humano em grandes acidentes aparece ser maior (50 a 80%) do que em pequenas falhas (10%).

Há uma distinção entre projeto e avaliação. O projeto procura melhorar a situação do trabalho e não aceita facilmente a inevitabilidade do erro humano. A avaliação aceita a situação como ela é e procura avaliar o erro humano. Muito progresso foi medito na redução do erro humano pelo melhoria do projeto mas a situação com relação a avaliação da taxa de erro humano é menos satisfatória.

O homem exibe um alto grau de variabilidade. Ele se adapta em seus objetivos e nos métodos usados para atingi-los. Ele executa uma tarefa usando vários mecanismos internos e como conseqüência, de vários modos diferentes. Ele executa várias tarefas ao mesmo tempo e pode estar preocupado. O operador é um processador holístico (baseado no principio em que o todo representa mais do que o conjunto de todas as partes) da informação e trata uma tarefa como um todo. Ele é capaz de monitorar a si mesmo e de achar e mostrar seus erros. Assim, o erro humano não contribui significativamente para o risco total e o erro humano é detectável e reversível.

Atividades do Operador

O problema do erro do operador no controle de processo pode ser enfocado tentando identificar os tipos gerais de atividades que o operador desempenha e assim descobrir se a confiabilidade de seu desempenho nestas atividades pode ser avaliada.

As atividades podem ser divididas em três categorias diferentes:

1. tarefa simples
2. tarefa de vigilância
3. comportamento na emergência.

Adicionalmente, outros aspectos do controle de processo incluem:

4. tarefas complexas
5. tarefas de controle

Uma tarefa simples é uma seqüência de operações relativamente simples, envolvendo pouca tomada de decisão.

Uma tarefa complexa é uma seqüência de operações razoavelmente definida e que envolve um grau de tomadas de decisão. Um exemplo típico seria a alteração do ponto de operação da planta que envolveria mais do que a execução de uma seqüência fixa. Uma tarefa complexa é caracterizada por uma maior variabilidade na seqüência a ser executada.

Há também a tarefa de controle global. As atividades do operador não completamente definidas por tarefas discretas especificas e tarefas de vigilância. Há também um resíduo que permanece e consiste da responsabilidade genérica de determinar se uma intervenção de controle é necessária e, se for, de fazê-la.

Tarefas Simples

Uma tarefa simples é uma seqüência pequena e clara de operações envolvendo pouca tomada de decisão e há um grande corpo de trabalho na execução das tarefas simples.

O enfoque normal é quebrar a tarefa em seus elementos constituintes e assim estimar a confiabilidade da tarefa, usando a teoria da probabilidade e diagramas em arvore.

As probabilidades de erros humanos depende de fatores tais como:

1. nível do stress psicológico do operador
2. qualidade de engenharia humana de controles e displays
3. qualidade do treinamento e da experiência
4. presença e qualidade de instruções escritas e métodos de uso
5. acoplamento das ações humanas
6. redundância pessoal.

Tarefas de Vigilância

Uma tarefa de vigilância envolve a detecção de sinais e também há um grande corpo de trabalho do desempenho dela. Alguns fatores são:

1. modalidade do sentido
2. natureza do sinal
3. potência do sinal
4. freqüência do sinal
5. expectativa do sinal
6. comprimento da escala de leitura
7. motivação
8. ação requerida.

A visão e a audição são os dois principais canais para receber o sinal. O sinal em si pode ser um simples liga-desliga ou um padrão complexo. No ultimo caso, a condição fora de limite pode não ser bem definida a priori mas pode ser avaliada no decorrer do tempo. O sinal pode ser forte e livre de ruído ou pode ser fraco e com ruído; ele pode ser freqüente ou raro e pode ser do tipo esperado ou não esperado.

Em geral o sinal sonoro é mais perceptível do que o visual, principalmente referente a alarme. A probabilidade de detecção de um sinal varia grandemente com a freqüência do sinal; a detecção é muito mais provável para sinais freqüentes do que para raros. Existe um efeito de vigilância, de modo que o desempenho tende a falhar com o tempo.

Outro tipo de tarefa de vigilância está é a inspeção. Em geral, há uma maior probabilidade de erro em uma tarefa de inspeção onde

1. ela é passiva,
2. a discriminação requerida é simples,
3. a taxa de defeito é baixa
4. a inspeção é rotineira e continua.

Quando há características ativas, como anotar medições para detectar o defeito, a taxa de defeito é alta e a inspeção é alternada com outra tarefa, a probabilidade de erro é diminuída.

Comportamento na Emergência

Uma tarefa de emergência não é tão bem definida como uma tarefa simples ou de vigilância e sua complexidade é variável. O fator comum nas tarefas de emergência é a stress. Há muito menos experiência

disponível relacionada com tarefa de emergência.

É interessante como a probabilidade de erro diminui quase exponencialmente com o tempo decorrido após uma emergência.

t	60 s	5 min	30 min	n horas
q	1	0,9	10^{-1}	10^{-2}

11. Treinamento

O treinamento dos operadores de processo é uma área em que se pode conseguir muito e, em geral, as industrias devotam grande esforço.

Seleção de Pessoal

Não há roteiros disponíveis para selecionar os operadores de processo, principalmente, por causa da dificuldade de definir os critérios para seu desempenho. Os testes de seleção normalmente serve apenas para eliminar os indivíduos totalmente inconvenientes.

O ponto de partida da escolha é o conhecimento das habilidades necessárias para o operador. Elas incluem a detecção do sinal, o filtro do sinal, estimação de probabilidade, avaliação do estado do sistema, o controle manual e o diagnostico da falha. Os testes podem ser úteis para medir estas habilidades, usando inclusive simuladores a computador.

É também importante considerar as qualidades pessoais do operador, que deveria ser

1. **responsável**, capaz de fazer o julgamento satisfatório em matéria de discrição, de modo que seu trabalho não necessite de verificação freqüente pelos superiores.
2. **consciente**, pronto para tomar decisão e cuidado extras, sem instruções diretas, quando a situação o exigir.
3. **confiável**, nunca cometendo erros, esquecendo instruções, ignorando indicações importantes etc. ou falhando em suas tarefas determinadas.
4. **íntegro**, capaz de relatar a verdade aos superiores, não escondendo os fatos quando suas próprias ações possam ter efeitos adversos.

Outros fatores importantes são o temperamento, motivação e habilidades sociais. O temperamento inclui a resposta à monotonia e à stress. A motivação é parcialmente um assunto individual, mas é também influenciado pelo projeto do trabalho. As habilidades sociais cobrem a larga faixa de comunicação com os outros envolvidos no trabalho.

O trabalho do operador requer um alto grau de inteligência, particularmente em grandes plantas, mas não é necessário procurar um QI elevado ou um grau universitário. O titulo acadêmico as vezes piora o operador.

Treinamento e Educação

Há uma distinção entre treinamento e educação; treinamento é especifico a uma tarefa ou trabalho particular; a educação é mais geral.

A diferença pode ser vista claramente na evolução da formação de técnicos de manutenção eletrônicos. Inicialmente, há uma educação geral em eletrônica, mas isso não garante que o pessoal já possa reparar os equipamentos. Depois, há um treinamento especifico para as tarefas de diagnostico envolvidas.

Princípios de Treinamento

O trabalho do instrutor é o de observar, analisar e fornecer a quantidade certa, do tipo certo, no tempo certo de informação ao treinando. Sua tarefa é encontrar quais os fatores afetam o aprendizado da habilidade com que ele está envolvido, observar os efeitos de sua alteração e tentar arranjar as melhores combinações.

O conteúdo do treinamento deve ser apropriado, o que significa estar relacionado com as dificuldades da operação. O treinamento deve ser feito numa cadencia apropriada. Ele deve prover realimentação do resultados, desde que isso é essencial ao aprendizado.

A motivação é outro fator importante e isso pode ser reforçado, reconhecendo o desempenho bem sucedido e adaptando as falhas objetivamente pela explicação da causa e não de um modo condenatório.

Há um numero de problemas clássicos no treinamento. Os períodos devem ser espaçados ou associados juntos. A tarefa pode ser aprendida por inteiro ou por

partes. A tarefa pode ter de ser feita sob algum tipo de stress.

Uma questão particularmente importante é a transferência de habilidade de uma tarefa para outra. É possível, por exemplo, conseguir bom desempenho em uma tarefa particular usando métodos tais como arvores de decisão que deixam pouco para o operador, mas a penalidade tende a ser que não se pode transferir a habilidade para outras tarefas.

Treinamento do Operador

Alguns aspectos do treinamento do operador de processo são mostrados abaixo. Em geral, é errado fornecer várias aulas sobre áreas como detalhes do projeto do processo ou dos programas de computador do processo; é melhor tocar diretamente nos problemas próprios do operador.
Ainda, o operador precisa entender o diagrama de fluxo do processo, as operações unitárias que compõem o processo e o sistema de controle. Em adição, ele deve conhecer basicamente os objetivos e os limites de operação da planta e as possíveis alterações das prioridades que podem ocorrer.

O operador também requer conhecimentos do equipamento da planta e a instrumentação. Em particular, ele deve ser capaz de identificar os itens e saber fazer as manipulações das quais ele é o responsável.

Há numerosos procedimentos de operação que devem ser conhecidos, como partida (*start up*), desligamento (*shut-down*), processo batelada e todas as outras rotinas seqüenciais. O operador precisar aprender a administrar falhas e em particular, a interpretar o sistema de alarme, diagnosticar falhas e detectar defeitos incipientes e informado dos procedimentos de emergência.

O sistema de ordem-de-serviço em uma planta é muito importante e o operador deve conhecer corretamente o sistema usado.

O treinamento em combate ao fogo é um importante aspecto de trabalho de emergência. O melhor treinamento é fornecido por exercícios realísticos de combate ao foto, em local especialmente dedicado.

Vícios e mas praticas operacionais se desenvolvem na maioria das plantas; exemplo típico é a operação de fornos em temperaturas que reduzem drasticamente a sua vida.

O operador tem uma importante tarefa em comunicar a informação acerca da operação da planta para outras pessoas, como instrumentistas, eletricistas, pessoal de segurança.

Tab. 15.9. Aspectos do Treinamento

1. Objetivos, economia, limites, prioridades do processo
2. Diagrama de fluxo do processo
3. Operações unitárias
4. Rações do processo, efeitos térmicos
5. Sistemas de controle
6. Qualidade dos materiais e produtos do processo
7. Efluentes e resíduos do processo
8. Equipamento da planta
9. Instrumentação
10. Identificação dos equipamentos
11. Manipulação dos equipamentos
12. Procedimentos de operação
13. Manutenção e limpeza dos equipamentos
14. Uso de ferramentas
15. Sistemas de permissão
16. Falha do equipamento e dos serviços
17. Administração de falhas
    a) monitoração do alarme
    b) Diagnose de falha
    c) Detecção de defeitos
18. Procedimentos de emergência
19. Combate ao fogo
20. Vícios de operação
21. Comunicação, relatórios, registros.

Tab. 15.10. Tópicos de Treinamento de Segurança

1. Responsabilidade dos trabalhadores pela segurança
2. Ambiente legal, referente a Saúde Ocupacional e Segurança do trabalho
3. Política de segurança da companhia, organização e arranjos, em particular, regras gerais de segurança, pessoal de segurança, comitês de segurança, CIPA
4. Perigos específicos de produtos e processos
5. Incêndio/explosão, perigo (mistura flamável, fonte de energia). Fontes de ignição e precauções, incluindo classificação elétrica de área, eletricidade estática, solda, fumar. Propagação do fogo, portas corta chama. Ação na descoberta de fogo ou vazamento não flamável.
6. Perigo tóxico. Ação em descoberta de vazamento tóxico.
7. Arranjos de emergência, incluindo sinais de alarme, caminhos de fuga, pontos de reunião.
8. Roupas protetoras, uso e local do equipamento.
9. Métodos de combate ao fogo, uso e local do equipamento.
10. Métodos de salvamento, uso e local do equipamento.
11. Métodos de primeiros socorros, uso e local do equipamento.
12. Elevação e manipulação
13. Sistemas de permissão
14. Segurança, áreas restritas
15. Almoxarifado
16. Relatórios de acidente
17. Aspectos médicos e de saúde
18. Historias de casos.

Tab. 15.11. Tópicos do Treinamento Para Gerentes

1. Responsabilidade gerencial pela segurança e prevenção de perdas
2. Exigências legais, principalmente relacionadas com Saúde e Segurança no trabalho.
3. Princípios de segurança e prevenção de perdas
4. Sistema de gerenciamento da companhia em relação a segurança e prevenção de perdas.
5. Política, organização e arranjos de segurança da companhia, incluindo pessoal de segurança, CIPA.
6. Perigos de produtos químicos e processos específicos
7. Sistemas de pressão
8. Sistemas de trip
9. Princípios de avaliação independente
10. Procedimentos de manutenção e modificação da planta, incluindo permissão de trabalho e autorização de modificações
11. Prevenção e proteção contra fogo
12. Planejamento de emergência
13. Treinamento de pessoal
14. Realimentação da informação
15. Armazenamento correto
16. Fontes de informação sobre segurança e prevenção de perdas, incluindo pessoal e literatura
17. Historias de casos

12. Display para o Operador

12.1. Introdução

As medições do processo são feitas no equipamento em operação e em materiais sólidos, líquidos ou gasosos que o equipamento do processo manipula. As medições quantitativas podem ser divididas em duas categorias:

1. Medição da condição do material ou do equipamento. Exemplos são nível em vaso, pressão em tubulação, vazão em tubulação e dutos e temperatura de materiais ou equipamentos em operação.
2. Medição de propriedades físicas dos materiais manipulados. Estas medições incluem a medição de densidade, viscosidade, pH ou percentagem de um componente em uma mistura.

As medições do processo, para terem utilidade prática e uso imediato, devem ser feitas em tempo real, isto é, as medições devem ser contínuas e atualizadas. A medição exata da informação deve estar disponível no momento que ela pode ser solicitada. Quando se toma uma amostra para fazer medição e análise no laboratório tem-se um método que não pode ser chamado de tempo real.

O tipo de medição necessária determina o projeto do sensor a ser usado. O sensor deve produzir um sinal de saída que se relaciona de modo previsível com os valores medidos da variável sendo medida. A complexidade do sensor para desempenhar sua função terá um efeito em seu custo e seu desempenho quando usado no ambiente hostil da indústria. A saída do sensor será tomada por um instrumento de leitura (*display* ou *readout*) que pode interpretá-la e apresentar a medição em termos do valor da variável sendo medida. Normalmente, o sinal que sai do sensor e vai para o instrumento de display é condicionado ou modificado para facilitar sua apresentação. Geralmente, os condicionadores de sinal são instrumentos cegos, pois não apresentam nenhuma indicação do valor do sinal manipulado.

A primeira das leis fundamentais do controle de processo diz:

Todo controle de processo começa com a medição e a qualidade do controle obtido nunca pode ser melhor que a qualidade da medição na qual ele se baseia.

A partir desta lei, deve-se dar tanta atenção à medição quanto à teoria de controle. Infelizmente, isto não acontece na prática atual. Hoje, os maiores avanços da tecnologia de instrumentação acontece com os instrumentos de controle, montados na sala de controle. Muito pouca coisa muda no desenvolvimento e uso dos sensores e das válvulas de controle.

12.2. Display da Medição

O ser humano possui cinco sentidos: visão, audição, olfato, paladar e tato. No processo de medição, somente a visão é usada realmente. Como conseqüência, independente do tipo da medição, ela deve ser convertida em uma leitura visível. No processo de alarme, também se usa a audição.

Os métodos mais comuns de apresentar a medição são:

1. Um ponteiro móvel através de uma escala
2. Uma pena desenhando um gráfico em um papel
3. Um medidor apresentando a medição através de um conjunto de números
4. Uma apresentação em uma tela de um terminal de vídeo, em que o valor da medição é mostrado como um número digital ou através de algum método pictorial, como a altura de uma barra gráfica.

O indicador com ponteiro e escala e o registrador com pena e gráfica são ambos instrumentos analógicos. O medidor com leitura através de números e de barra gráfica são digitais. O display digital não é nem mais preciso e nem mais exato que o analógico, mas apenas mais conveniente, pois há menor probabilidade de erro humano na leitura do valor medido.

Em operações de grandes plantas, especialmente aquelas que envolvem processos contínuos, é usual coletar todas as informações importantes da planta em um local centralizado de modo que estas informações possam ser monitoradas juntas pelos operadores de processo. A outra alternativa é ter as indicações e

registros no próprio local do processo, onde se requer operadores andando através da planta para ler os instrumentos. A complexidade e a segurança das plantas atuais não permitem esta configuração de indicadores locais.

A necessidade de uso da informação em locais distantes entre si causou o aparecimento de novos instrumentos. Quando as medições devem ser transmitidas para um local distante, dois instrumentos são necessários além do sensor. O primeiro é o transmissor, que faz a medição necessária e a converte em um sinal padrão, pneumático, eletrônico ou digital, proporcional ao valor da medição, O segundo é um instrumento receptor, que recebe o sinal transmitido e o converte de volta para a leitura real da medição, na unidade de engenharia apropriada.

Mesmo que a maioria dos medidores meça a variável de modo contínuo, os sistemas digitais atuais podem fazer a leitura dos sinais de modo periódico e não contínuo. Estes sistemas fazem a amostragem da medição em intervalos predeterminados. Se estas indicações possuem melhor ou pior informação acerca da variável sendo medida é assunto de muita discussão.

Faixa de Medição

Qualquer medidor do processo é capaz de medir valores de uma variável de processo somente entre limites fixos, inferior e superior. Estes limites definem a faixa de medição da variável. Exemplos de faixa de medição são:

1. 0 a 5 m de nível de líquido em um vaso
2. 0 a 1000 kPa de pressão
3. 0 a 10 m^3/s de vazão
4. 20 a 80 ^oC.

A habilidade de um instrumento fazer qualquer medição é necessariamente limitada aos valores da faixa medida que caem dentro da faixa de medição. O instrumento não pode medir qualquer valor que seja menor que o limite inferior de sua faixa de medição nem maior que seu limite superior. Como conseqüência, deve-se ter cuidado razoável quando se seleciona a faixa de medição de um instrumento. As variações que podem ocorrer no valor da variável do processo a ser medida devem ser considerados.

É comum substituir a palavra *a* por um hífen, quando se estabelece a faixa de medição. Assim, 0 a 1000 kilopascals se torna 0-1000 kPa e 20 a 80 graus Celsius se torna 20-80 ^oC. Esta convenção não é satisfatória quando se tem valores limites na faixa de medição e o hífen pode ser confundido com o sinal menos. A melhor prática é escrever a palavra a. Exemplos: a faixa de pressão diferencial de -5 a +5 kPa; a temperatura de -20 a +50 ^oC.

Toda faixa de medição varia de 0 a 100% mas nem toda faixa começa de zero. É possível e comum se ter uma faixa de temperatura de 20 a 50 ^oC, que para uma aplicação particular, é mais conveniente que a faixa de 0 a 100 ^oC.

Largura de faixa

A largura de faixa de um medidor é a diferença algébrica entre o limite superior e o inferior da faixa de medição, tomado sempre em valor absoluto. Como exemplos, tem-se

1. faixa de 0 a 100 ^oC, largura = 100 ^oC
2. faixa de 20 a 100 ^oC, largura = 80 ^oC
3. faixa de -20 a 100 ^oC, largura = 120 ^oC
4. faixa de -40 a 0 ^oC, largura = 40 ^oC
5. faixa de -40 a -10 ^oC, largura = 30 ^oC

Geralmente vazão e nível são grandezas cujas faixas começam de zero; temperatura geralmente tem faixa com zero suprimido (por exemplo, 20 a 100 ^oC)

A unidade da largura de faixa é a mesma da faixa.

A precisão do instrumento geralmente é expressa em percentagem da largura de faixa e por isso é importante escolher corretamente a largura de faixa de medição do instrumento.

Elevação e Supressão de Zero

A precisão de um instrumento geralmente é expressa em percentagem da largura de faixa. Quanto menor a largura de faixa, melhor é a precisão do instrumento. Faixas de medição de nível e vazão inevitavelmente começam em zero, de modo que há pouca oportunidade de diminuir a largura de faixa pela diminuição do limite inferior da faixa.

Pressão e temperatura podem normalmente ter o limite inferior diferente de zero. Por exemplo, quando se quer medir uma temperatura de 110 °C, não é conveniente especificar uma faixa de 0 a 200 °C. A faixa mais adequada é de 50 a 150 °C, que encurta a largura de faixa para 100 °C e melhora a precisão de um fator 2.

Ajustando a faixa de medição de modo que 0% não seja 0, obtém-se uma faixa com supressão ou elevação de zero. A faixa onde o 0% é maior que 0, como 50 a 150 °C é chamada de faixa com *zero suprimido*. A faixa onde o 0% é negativo, como -20 a 100 °C, é chamada de faixa com *zero elevado*.

Quando se diminui a largura de faixa pela supressão ou elevação do zero deve-se tomar o cuidado de

1. garantir que todos os valores antecipados da variável medida ainda estarão entre os limites inferior e superior da faixa.
2. garantir que o medidor selecionado para a aplicação é realmente capaz de ter o zero deslocado.

12.3. Desempenho do instrumento

Embora o operador não seja especialista de instrumentação (a não ser que tenha sido um instrumentista que mudou de função por causa do maior salário de turno), ele precisa ter uma noções básicas de instrumentação, para poder se comunicar de modo eficiente com o instrumentista e para entender as capacidades e limitações do instrumento.

O objetivo de usar instrumentação para monitorar e controlar o processo é justamente para assistir e ajudar o operador em seu trabalho de rotina. Os instrumentos são lidos e atuados pelo operador. Assim, é fundamental que o operador entenda alguns conceitos de instrumentação.

Sensitividade

Sensitividade é a capacidade de um instrumento detectar pequenos sinais.

Nenhum medidor industrial possui sensitividade infinita. Quando a alteração da variável do processo sendo medida se torna cada vez menor, atinge-se um ponto onde o medidor se recusa a responder. A sensitividade do medidor é a menor alteração na variável de processo para a qual o medidor irá responder alterando sua saída. A sensitividade é usualmente expressa como uma percentagem da largura de faixa.

A maioria dos medidores industriais possuem uma sensitividade da ordem de 0,2% da largura de faixa. Assim, para um medidor cuja faixa é de 100 a 300 °C, a sensitividade seria de 0,2% de 200 °C, que vale 0,4 °C. Isto significa que se a variação da temperatura medida for menor que 0,4 °C, o medidor não irá responder.

Se a faixa acima pudesse ser diminuída para 150 a 250 °C, a sensitividade da medição seria melhorada para 0,2 °C (0,2% x 100 °C = 0,2 °C). A sensitividade da medição é importante para o controle automático. Se o sistema de medição do controlador não reage às alterações na variável controlada, então o controlador não gerará nenhuma ação de controle.

Resolução

Resolução é um parâmetro associado principalmente ao indicador analógico. Quando o ponteiro está entre duas graduações, qual é o valor correto? Sempre há um limite prático de número de graduações que podem ser marcadas em uma dada escala ou gráfico, por exemplo, 100. Um medidor com uma faixa de 0 a 300 °C normalmente tem uma escala com 100 divisões, com cada divisão representando 3 °C. Os valores aceitáveis para as divisões da escala são 1, 2 e 5 unidades ou algum fator de 10 destes valores. Deste modo, um indicador com faixa de 0-300 °C provavelmente tem 60 divisões na escala, com cada divisão representando 5 °C.

Se a faixa pudesse ser diminuída para 100 a 200 °C, seriam usadas 100 divisões

e cada divisão seria de 1 °C, que melhora a resolução de cinco vezes, de 5 para 1 °C. Esta melhoria é devida parcialmente a uma largura de faixa menor e parcialmente ao fato de se usar divisão de 1 °C em vez de divisão de 5 °C.

Erros de leitura são pouco prováveis em displays digitais, que são mais convenientes. A resolução de displays digitais depende do número de dígitos do conversor analógico para digital e freqüentemente está além da precisão da medição.

Não se deve pensar que há uma correlação entre a resolução e precisão. Qualquer instrumento pode ser feito com maior resolução, simplesmente expandindo sua escala e colocando mais graduações ou mais dígitos. Isto não melhora sua precisão. Um indicador coerente é aquele em que a resolução é compatível com a precisão. O indicador de nível de combustível de um automóvel é usualmente graduado em pontos de 25%. Como tal, ele é um bom exemplo de um instrumento coerente, desde que sua precisão provável é também de cerca de ±25%.

Seja um indicador compartilhado de temperatura, com um indicador compartilhado por dezenas de termopares. Este indicador tem uma longa escala circular com um grande número de graduações, gerando uma grande confiança na precisão do instrumento. Se digital, ele teria dois dígitos depois do ponto decimal. Esta precisão de dois dígitos depois da virgula é justificada?

Os sensores que estão ligados ao indicador multiponto de temperatura são termopares. Assim, o indicador não mede temperatura mas pequenas forças eletromotrizes ou tensões. Cada pequena tensão deve ser convertida para uma leitura de temperatura usando uma correlação entre a saída do termopar e a temperatura. (Nos EUA, esta correlação é produzida pelo *National Institute of Standards and Technoogy* - NIST).

Um indicador de temperatura multiponto numa siderúrgica tem uma faixa de 0 a 1200 °C, com divisões de escala de 2 °C. Isto significa que o indicador pode ler 1 °C, que é a maior resolução sobre uma faixa de 1200 °C. A precisão da medição da temperatura é tão boa assim?

Como um instrumento para medir militensão, a precisão do indicador de temperatura é boa; o erro é provavelmente melhor do que 0,2 % da largura de faixa ou dentro de 2,4 °C. Porém, ainda fica a dúvida acerca do comportamento do termopar e a correlação temperatura x militensão teórica.

Os fabricantes que fazem termopares do modo cuidadoso e sob condições controladas, publicam as especificações de seus termopares como tendo uma precisão de maior entre ±2,2 °C e ±0,75% do valor medido (tipo J). Assim, o indicador de temperatura tem um erro de ±7 °C em qualquer temperatura medida.

Quando se consideram também os erros devidos aos fios de extensão de termopar e à junta de compensação, o erro total da malha pode chegar até a 20 °C e por isso não tem nenhum sentido prático usar uma escala com resolução de ±2 °C.

Quando o indicador multiponto de temperatura é substituído por um display de console de computador a precisão não melhora, por que os sensores continuam sendo os termopares, a correlação continua sendo a da NIST, os fios de extensão continuam sendo usados.

Como conclusão, sempre deve se considerar a incerteza de toda a malha. É inútil e desperdício de dinheiro, usar um instrumento de display de painel com grande resolução (alto custo) quando se tem associado a ele uma malha com sensor e condicionador de sinal com incerteza muito maior que a do indicador. E quem faz a leitura do display deve saber o que está gerando e trazendo esta informação para o display.

Precisão

A precisão de uma medição existe em duas formas: estática e dinâmica. Ambos os tipos da precisão são importantes no controle e medição do processo, embora de modos diferentes. A precisão estática é geralmente requerida em situações de balanço, como em custódia, balanço de materiais e otimização de processo. A precisão dinâmica é importante em controle automático, desde que o desempenho do controle depende da

velocidade com que os componentes reagem.

A precisão estática é o status de como as indicações se agrupam em torno do valor verdadeiro da variável de processo senso medida sob condições estáticas ou de regime permanente. A precisão estática é uma característica saída versus entrada, a entrada sendo o valor verdadeiro da variável medida e a saída sendo a leitura do medidor.

O tempo não entra na determinação da precisão estática. Quando o valor de uma variável medida se altera, o medidor tem todo o tempo que ele precisa para assumir sua nova leitura. A precisão estática é usualmente expressa em ternos do erro que se pode esperar. O erro potencial pode ser estabelecido em unidades de engenharia da variável do processo sendo medida ou em percentagem da largura de faixa medida.

A especificação da precisão do instrumento geralmente é feita de modo ambíguo, incompleto ou confuso. Por exemplo, *a precisão da medição de vazão com placa de orifício é de ± 3%.* Há várias coisas erradas nesta especificação; por exemplo:

1. precisão de ±3% tecnicamente significa que o erro é de ±3% e a precisão é de ±97%.
2. independe do valor da medição, o erro é de ±3%. O correto é dizer que o erro é, no máximo, igual a ±3% ou a incerteza está dentro dos limites de ±3%.
3. a percentagem do erro deve estar relacionada com o valor medido ou com a largura de faixa. É incompleto e inútil somente escrever ±3%; o correto é dizer ±3% do fundo de escala. Quando se conhece a faixa calibrada, imediatamente se tem o erro em unidade de engenharia.

Valor verdadeiro

Um erro somente pode ser detectado pela comparação do valor medido com um valor verdadeiro da variável medida. Isto levanta a questão interessante de como se sabe qual é realmente o valor verdadeiro. O valor verdadeiro é o valor teórico, nominal, *default*.

Na prática, o valor verdadeiro é aquele dado por um instrumento padrão, com precisão melhor que a do instrumento de medição e rastreado contra outros padrões superiores. Neste caso, este valor é chamado de verdadeiro convencional.

Muitos padrões podem fornecer o valor verdadeiro, porém, na prática industrial, tem-se restrições de seu uso, porque ele é muito caro, pouco robusto, eletricamente não seguro para uma área classificada ou incapaz de ser usado nas intempéries do ambiente que cerca o instrumento de medição.

A diferença entre o valor medido pelo instrumento e o valor verdadeiro é chamado de erro sistemático. Esta diferença também expressa a **exatidão** do instrumento.

Resposta Dinâmica

A resposta dinâmica se refere à habilidade do medidor seguir as variações no valor da variável medida. Em um teste de resposta dinâmica, o medidor recebe na entrada um sinal função do tempo; o degrau é a forma mais popular para o teste dinâmico. Registram-se o sinal de entrada aplicado e o sinal de saída do medidor.

Um medidor que tenha uma boa resposta dinâmica seguirá a variação da entrada sem atraso significativo. Se a resposta dinâmica é ruim, a saída será muito atrasada da entrada. Enquanto a saída estiver variando para atingir seu valor final ela está muito diferente da entrada; esta diferença é chamada de erro dinâmico. Qualquer diferença entre a saída real e a saída ideal depois de estabilizada, é chamada de erro estático.

A resposta dinâmica, também chamada de precisão dinâmica, do instrumento é um parâmetro importante em controle automático, desde que a velocidade com que cada um dos componentes do sistema de controle responde a uma variação da

entrada tem um efeito significativo no desempenho do sistema de controle. A precisão dinâmica do medidor de temperatura é geralmente ruim por causa da instalação do sensor dentro de um bulbo que é colocado dentro de um poço termal. A transferência de calor entre as paredes do bulbo e do poço é demorada. Como o sensor de temperatura mede realmente a temperatura dele, deve haver um atraso para ele atingir a temperatura que ele está medindo.

Reprodutibilidade

Reprodutibilidade é a habilidade de um instrumento ter a mesma saída toda vez que ele recebe a mesma entrada. A reprodutibilidade é um parâmetro da precisão. A relação entrada-saída de um medidor pode ser não-linear e as leituras do instrumento podem ser não precisas mas se ele tem uma boa reprodutibilidade, o medidor pode ser confiável para produzir a mesma leitura cada vez que ele mede o mesmo valor da variável do processo.

A reprodutibilidade é uma qualidade importante de qualquer instrumento. Um medidor que deu diferentes leituras em diferentes épocas quando ele media o mesmo valor da variável do processo não é muito útil.

Seletividade

Seletividade é a habilidade de um medidor responder somente às alterações da variável que ele mede e ser imune às outras alterações e influências.

Uma medição pode ser alterada por modificação ou por influência.

Modificação é quando a medição é afetada no elemento sensor, ou seja, na origem da medição. Por exemplo, quando se mede nível baseando-se na pressão diferencial da coluna líquida, a variação da densidade do líquido é um erro de modificação. Em vez de detectar apenas a altura do líquido (nível), o sensor de pressão diferencial também a densidade do líquido.

O erro de modificação pode ser eliminado ou diminuído, colocando uma malha de compensação. No exemplo acima, pode-se colocar um transmissor de densidade e dividir o sinal de saída do transmissor de nível pelo sinal de saída do transmissor de densidade. A saída do divisor (compensador de densidade) depende apenas do nível do líquido do tanque.

Influência é quando a medição é afetada depois do sinal ser gerado pelo elemento sensor. Por exemplo, quando se mede nível com um transmissor eletrônico de pressão diferencial, o sinal de saída do transmissor pode ser afetado por ruído gerado por um transformador. O ruído afeta a medição, modificando o sinal de saída do transmissor e é exemplo de um erro de influência. Para ser eliminado ou diminuído, pode-se:

1. mudar o local de passagem dos fios do transmissor,
2. blindar os fios do transmissor
3. colocar um filtro no instrumento receptor do sinal do transmissor

Confiabilidade

Confiabilidade implica na habilidade de um instrumento se manter em operação, em um nível desejado de desempenho, sob condições ambientais determinadas, durante um determinado período de tempo e com um mínimo de atenção. A confiabilidade de um instrumento depende do cuidado com que ele é instalado. Para um instrumento ser bem sucedido na sua operação, ele deve ser bem selecionado, montado no lugar apropriado e ser usado corretamente.

A confiabilidade é importante por que um instrumento que necessita de manutenção freqüente para se manter em funcionamento, se torna mais caro do que um instrumento melhor que tem um maior custo inicial e um menor custo de manutenção. O modo correto de usar qualquer instrumento deve ser aprendido. Por isso, o pessoal de manutenção prefere usar uma mesma marca de instrumento. Marca que seja desconhecida geralmente é menos confiável, durante um determinado período de tempo.

12.4. Instrumentos Inteligentes

Nos anos 1980s apareceram os instrumentos chamados de *inteligentes*. Este é outro de muitos exemplos de nomes escolhidos estupidamente para instrumentos de processo. Não há nada particularmente inteligente nos medidores

inteligentes. Porém, eles possuem características acima e além das de seus predecessores e estas capacidades devem ser entendidas.

A capacidade adicional tornou-se possível pelo desenvolvimento da microeletrônica e a inclusão destes componentes admiráveis nos instrumentos de medição. Isto significa que um transmissor inteligente possui um pequeno computador em seu interior que geralmente lhe dá a habilidade de fazer duas coisas:

1. modificar sua saída para compensar os efeitos de erros
2. ser interrogado pelo instrumento receptor da malha.

As capacidades peculiares dos instrumentos inteligentes são:

1. habilidade de transmitir medições do processo, usando um sinal digital que é inerentemente um método mais preciso do que o sinal analógico. O principal obstáculo é a falta de padronização deste sinal digital e seu respectivo protocolo. Algum dia isto será resolvido.
2. Todos os instrumentos de medição industriais contem componentes como foles, diafragmas e elos que exibem comportamento não linear ou cujo comportamento pode ser alterado por variações de temperatura, umidade, pressão, vibração, alimentação ou outros efeitos externos. Em outros casos, os efeitos não lineares aparecem por causa dos princípios de medição, como a medição de vazão com placa de orifício. A estratégia, até hoje, era usar outros instrumentos para compensar estes efeitos.
   Como os instrumentos inteligentes possuem uma grande capacidade computacional, estas compensações, correções e linearizações são mais facilmente conseguidas através de circuitos embutidos no microprocessador.
3. Além de transmitir a informação, o transmissor inteligente pode também *ouvir*. Um benefício prático disto é em verificação de pré-partida. Da sala de controle, o instrumentista pode perguntar ao transmissor que está no campo qual é o seu número de identificação.
4. Um transmissor inteligente pode ter sua faixa de calibração facilmente alterada através de comandos de reprogramação em vez de ter ajustes mecânicos locais. Na medição de vazão com placa de orifício, as verificações de zero do instrumento requerem a abertura e fechamento das válvulas do distribuidor no transmissor.

12.5. Analógico e Digital

Antes de se tomar qualquer decisão com relação à filosofia de operação de uma planta, principalmente com relação à escolha dos painéis e consoles de instrumentos de controle, há um ponto fundamental que deve ser considerado. Mesmo havendo controladores PID *single-loop* que operam digitalmente, os painéis de instrumento usualmente tem controladores automáticos que operam no modo analógico usando o sinal de 4 a 20 mA cc. Assim, os méritos de operar de modo digital em vez de analógico pode ser um fator na decisão de painéis de instrumentos versus consoles.

Quem acredita ainda que o último sistema é aquele que opera totalmente digital é um sonhador, por isto nunca acontece. A maioria dos sensores usados para as medições de processo é analógica e na pode ser feito para mudar isto. As tentativas de se construir válvulas que operem digitalmente tem sido sem sucesso até agora. As válvulas de controle que funcionem de modo analógico, com atuadores a diafragma e mola ainda continuarão a ser usadas por longo tempo.

No mundo físico, há mais coisas acontecendo de modo analógico que de modo digital. Os planetas executam órbitas analógicas e não por degraus. Tudo que cresce, cresce de modo analógico. O tempo avança para frente de modo analógico. A temperatura de fervura da água varia de modo analógico entre a temperatura ambiente e 100 ^{o}C, à pressão atmosférica normal. O crescimento de uma pessoa se dá de uma forma analógica, atingindo 50% da altura final aos dois anos de idade.

As virtudes dos equipamentos analógicos são evidenciadas claramente nas medições. Uma medição feita de modo analógico é uma medição contínua. Nunca há qualquer perda de informação de medição. Às vezes, há um fator significativo na qualidade do controle. Um sistema digital, por sua vez, faz uma amostragem da medição em um intervalo programado. A informação da medição que acontece durante os pontos de medição nunca é considerada.

Os defensores dos sistemas digitais podem argumentar que os intervalos entre as amostras são muito curtos, possivelmente da ordem de 10^{-1} segundo e que o método digital efetivamente duplica uma medição analógica. A hipótese aqui é que não exista processo industrial que mude mais rápido que 10^{-1} segundo. Entendidos de controle de processo, que já viram alguns equipamentos operando de modo rápido, provavelmente não concordam com isto.

Há ainda pessoas que dizem que a amostragem digital dos dados de medição é realmente melhor que a analógica por que o método digital filtra os ruídos espúrios que podem aparecer na medição real. Quando se pensa assim, a resposta é que se a informação da medição que é rejeitada por que ela está entre os pontos de amostragem é má informação, então a medição é melhorada. Se a informação que é rejeitada é uma boa informação, então a medição fica pior.

O problema real com os componentes analógicos é que eles requerem calibrações periódicas para terem suas exatidões asseguradas em determinados intervalos. Se esta calibração não é feita como devia, então os erros aumentam. Sistemas digitais para processar e transmitir dados retém melhor sua exatidão e neste aspecto, eles são definitivamente melhores. Além disso, quando uma medição é apresentada em forma digital (display de números) em vez da forma analógica (ponteiro e escala), a chance de erro humano é reduzida, quando se faz uma leitura.

12.6. Aspectos Psicológicos

Os vários efeitos do corpo humano de sentar várias horas em frente de um monitor de vídeo, diferente de andar em frente de um painel de instrumentos analógicos, hoje já são totalmente estudados. Há estudos publicados acerca de cansaço de vista, dor de cabeça, problemas de coluna e de braços e outras desordens de saúde associadas com tão pouca atividade física e de permanecer longos períodos olhando monitores de vídeo. Hoje já existem bicicletas ergométricas e esteira para correr em grandes salas de controle.

12.7. Computador de Processo

Os computadores que estão agora operando plantas tem recebido sua dose de publicidade; isto está certo. Já, os projetos que tem sido escritos e que tem sido descritos em seminários técnicos parecem ser aqueles que são novos e têm já provado seu valor, melhor que aqueles que partiram, foram debugados e estão operando. Pouca publicidade ou nenhuma recebem os projetos que nunca satisfizeram suas expectativas e que foram abandonados, depois de muita perda de tempo e dinheiro.

Antes de entrar em um projeto de computador de controle de processo, é prudente considerar algumas dicas que outros já encontraram e agiram, para a proteção do projeto e do projetista. Projetos de computador de processo podem falhar para alguma das seguintes razões:

1. Falta de estabelecer os objetivos claros e específicos do projeto desde o início e depois apontá-los.
2. Falta de realizar o que os especialistas da companhia do sistema de computador, para quem o projetista foi apresentado quando o projeto estava ainda no estágio de cotação, O pessoal do computador deve conhecer o projeto para o qual o computador vai ser aplicado e o pessoal do processo deve conhecer as funções de operação do sistema do computador.
3. Falha de reconhecer o fornecedor que não pode satisfazer suas especificações pelo preço que ele cotou o sistema.
4. Falha de reconhecer que em muitas plantas a qualidade das medições

críticas do processo devem ser consideravelmente atualizadas se o computador deve usá-las efetivamente.

5. Falha de entender, em seu entusiasmo, que ninguém irá amar o computador. Computadores em linha com o processo geralmente aumentam muito o trabalho do pessoal de manutenção de instrumentos. Alguns operadores podem se sentir desafiados. O ponto de referência é que pode haver aqueles que realmente esperam que o projeto não dê certo.

Perigo Desconhecido

Os instrumentistas já detectaram uma correlação entre a adoção de sistemas baseados em computador de controle de processo e um aumento do número de grandes acidentes nas plantas. Percebe-se que há uma fraqueza inesperada na monitoração da planta por computador, em que as condições inseguras não estão sendo reconhecidas tão rapidamente como eram sob monitoração humana.

Esta observação, se verdadeira, contradiz o conceito que, como o computador pode processar os dados mais rapidamente que uma pessoa e ele nunca cansa, então ele pode monitorar as condições da planta mais efetivamente do que uma pessoa pode. É possível, portanto, que quando funções de monitoração importantes que eram feitas por pessoas são transferidas para o computador, as pessoas se tornam mais complacentes? Já foram relatados em relatórios de investigações de certos acidentes de plantas que um computador gerou um aviso de perigo que o operador não considerou como importante. Se os novos relatórios forem corretos, as plantas em Three Mile Island e Chernobyl foram monitoradas por computadores em linha com o processo.

Se esta tendência continuar, então mais e maiores desastres de plantas acontecerão. Precisa-se saber mais acerca dos efeitos psicológicos de passar todo o controle para o computador. A divisão das responsabilidades entre as pessoas e as máquinas necessita ser cuidadosamente pensada.

Controle centralizado

Recentemente, enquanto preparava um artigo sobre segurança em instrumentação de plantas de processo, foi descoberto algo curioso. Da informação encontrada nas estantes da biblioteca, foram construídas tabelas de número e escala de incidentes em plantas que ocorreram durante os anos. Embora os dados não sejam completos, os números indicavam um padrão coerente.

Antes de 1940, o número e escala dos incidentes de planta eram aproximadamente o mesmo, cada ano. Durante os anos 1950 e 60, o número de incidentes tendeu a diminuir cada ano, com nenhum grande aumento em tamanho do prejuízo. Na década de 1970 a 80 houve um aumento constante no número e tamanho dos incidentes.

A razão para os aumentos, de acordo com a maioria dos sumários dos bombeiros, é que há mais plantas e estas plantas estão usando mais materiais perigosos. Porém, isto tem sido uma tendência constante. Se o crescimento nas plantas fosse a razão completa, o número de incidentes durante os anos 1950 e 60 também teria tido um aumento.

Associando-se estas datas com o desenvolvimento da instrumentação, tem-se conclusões interessantes. Antes de 1940, a instrumentação era basicamente pneumática e mecânica. Os anos 1950 e 60 viram a introdução da instrumentação eletrônica em grande escala. Os anos 1970 e 80 tiverem um crescimento constante em equipamento digital centralizado.

O fato que as duas curvas parecem ter uma mesma correspondência não é surpreendente.

A introdução da instrumentação eletrônica trouxe mais, melhor e diferente informação para a sala de controle, que ajudou o operador. Mas desde que a sala de controle ainda estava dentro da planta, o operador ainda ia na área industrial, para acordar e esticar as pernas. Andando em torno de uma bomba, ele podia entender o seu ruído, batendo um martelo em uma tubulação fazia o lembrar de um registro anormal no gráfico e ele podia mandar alguém engraxar uma válvula. Um bom

operador tem um sentimento (*feelling)* por sua planta, que é cada vez menos considerado hoje.

Dilema da Visão Janela

A tendência atual em separar a planta da sala de controle elimina a capacidade do operador entender seu processo. Não há dúvida que, quando uma planta está operando normalmente, há vantagens óbvias com o controle com computador, com otimização, facilidade de balanço, controle total, computação. Meu ponto é que, com a visão de janela do homem de controle e nenhum contato direto com a planta, um pequeno incidente pode rapidamente se tornar mais sério. Se uma vazão aumenta muito, o homem de controle não pode saber imediatamente que o operador local bloqueou a válvula de controle por causa de vazamento no engaxetamento e está tentando estabelecer um bypass para evitar um desligamento total do processo. Tomar uma ação corretiva do teclado do computador pode tornar isto mais difícil para o operador local. Se o operador espera para informar o homem do controle deste problema, o vazamento pode flachear e causar um incêndio.

Mesmo na sala de controle, um problema pode aumentar e não ser percebido na visão da janela. Uma malha pode se tornar instável, mas ainda não alarmar até que a oscilação atinja o nível de alarme. Se o operador está navegando entre vários displays para rastrear todas as malhas, uma oscilação lenta não será observável. Porém, em um painel convencional, o operador teria esta indicação. Também, uma variação lenta pode não ser observada rapidamente, mas pode ser um aviso prévio de um problema.

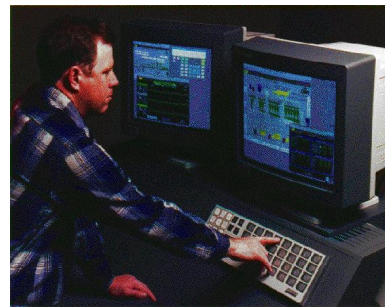



Fig. 17.19. Operador e a janela do processo

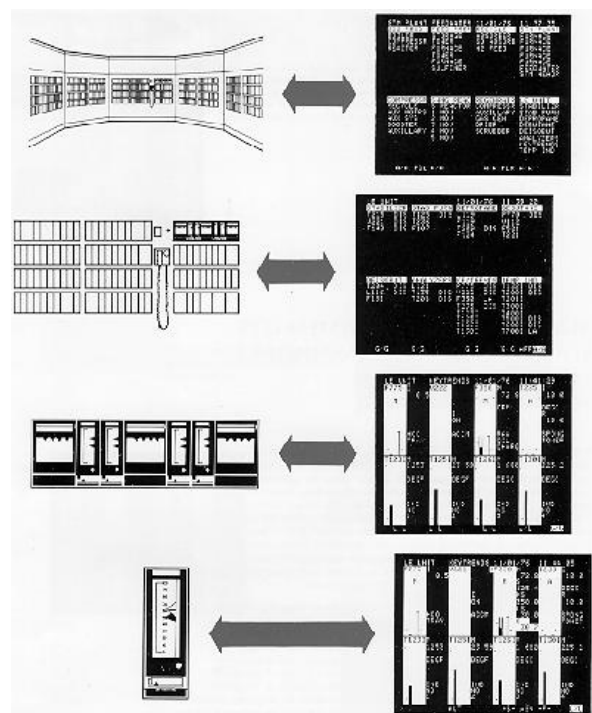



Fig. 17.20. Painel convencional e monitor de vídeo

Deve ser enfatizado que estão sendo consideradas situações anormais raras. Mas os incidentes da planta são, em geral, o resultado de circunstâncias raras e não operações rotineiras do dia a dia. Árvores de falha de alarme, programas de inteligência artificial e equipamentos semelhantes tratam de variações de operações normais, e não com o imprevisível. Sistemas de controle digital centralizados certamente melhoram as operações normais mas introduzem um grande fator de perigo. Para resolver isto, ainda é uma boa prática de engenharia de controle, garantir que as malhas críticas tenham seus registradores, alarmes e chaves de desligamento separados do Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) e Controlador Lógico Programável (CLP).

Conclusão

Esta questão inteira é um exemplo gráfico do axioma básico, quando se muda para um novo sistema para se livrar dos velhos problemas, inevitavelmente descobre-se que o novo sistema não eliminou de fato todos os velhos problemas, mas trouxe consigo um conjunto de novos problemas que devem ser resolvidos. Assim, de novo aparece a questão: estamos melhor com o novo modo que nos livra dos velhos problemas mas traz com ele uma batelada inteira de novos ou teria sido melhor com o velho sistema com seus problemas que já eram entendidos e a gente sabia como conviver com eles?

Apostilas\Automação OperaçãoProcesso.doc 19 FEV 99

18

Referências Bibliográficas

(Todos estes livros pertencem à Biblioteca do autor e todos os livros, exceto os que os amigos tomaram emprestados e esqueceram de devolver, foram e são continuamente consultados para a elaboração e atualização de seus trabalhos.)

Ahson, S.I., Microprocessors with Applications in Process Control, New Delhi, Tata Mc Graw-Hill, 1984.

Allocca, J. A. & Stuart, A., Transducers: Theory & Applications, Reston, Prentice Hall, 1984.

American Society for Testing and Materials, Temperature Measurement (Vol. 14.03), ASTM, Philadelphia, 1994.

American Society of Mechanical Engineers, Fluid Meters, New York, ASME, 6ª ed, 1983

Anderson, N.A., Instrumentation for Process Measurement and Control, 2ª ed., Radnor, Chilton, 1980.

Andrew, W.G., Applied Instrumentation in the Process Industries: 1 - A Survey, Houston, Gulf, 1974.

Andrew, W.G., Applied Instrumentation in the Process Industries: 2 - Pratical Guidelines, Houston, Gulf, 1974.

Andrew, W.G., Applied Instrumentation in the Process Industries: 3 - Engineering Data, Houston, Gulf, 1974.

Andrew, W.G., Applied Instrumentation in the Process Industries: 4 - Control Systems, Houston, Gulf, 1982.

Bhargava, N.N., Kulshreshitha D.C. & Gupta, S.C., Basic Electronics and Linear Circuits, Tata Mc Graw Hill, 1988.

Barney, G.C., Inteligent Instrumentation, Hempstead, Prentice Hall, 2ª ed, 1988.

Benedict, R.P., Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements, 2 ª ed., New York, John Wiley, 1977.

Bennett, S., Real-Time Computer Control: an Introduction, Cambridge, Prentice-Hall, 1988.

Bentley, J.P., Principles of Measurement Systems, 3ª ed., Singapore, Longman, 1995.

Berk, A.A., Microcontrollers in Process and Product Control, New York, McGraw-Hill, 1986.

Blaschke, W.S. & McGill J., Control of Industrial Processes by Digital Techniques, Amsterdam, Elservier, 1976.

Bollinger, J.G. & Duffie, N.A., Computer Control of Machines and Processes, Reading, Addison-Wesley, 1988.

Bolton, W., Instrumentação & Controle, São Paulo, Hemus, ©? (sic).

Bolton, W., Control Engineering, Malaysia, Longman Group, 1992.

Bolton, W., Instrumentation & Process Measurements, Hong Kong, Longman Group, 1991.

Bouwens, A.J., Digital Instrumentation, Singapore, McGraw-Hill, 1986.

Boyce, J.C., Digital Logic - Operation and Analysis, 2ª ed., Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1982.

Braccio, M., Basic Electrical and Electronic Tests and Measurements, Reston, Prentice Hall, 1978.

Bracewell, R., Fourier Transform and its Application, New York, McGraw-Hill, 1965.

Buckley, P.S., Techniques of Process Control, Huntington, R.E. Krieger Pub., 1979.

Ceaglske, N.H., Automatic Process Control for Chemical Engineers, Tokyo, John Wiley - Topoan, 1956.

Cheremisinoff, N. & Cheremisinoff, P., Instrumentation for Process Flow Engineering, Lancaster, Technomic, 1987.

Chopey, N.P., (editor), Instrumentation and Process Control, New York, McGraw-Hill, 1996.
Connell, B., Process Instrumentation Applications Manual, New York, McGraw-Hill, 1996.
Considine, D.M., Chemical and Process Technology Encyclopaedia, New York, McGraw-Hill, 1974.
Considine, D.M., Process Instruments and Controls Handbook, 2ª. ed., New York, McGraw-Hill, 1985.
Considine, D.M., Process Instruments and Controls Handbook, 3ª. ed., New York, McGraw-Hill, 1993.
Considine, D.M. & Ross, S.D., Handbook of Applied Instrumentation, New York, McGraw-Hill, 1964.
Coughanowr, D.R. & Koppel, L.B., Process Systems Analysis and Control, Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha, 1965.
Cutler, P., Ac Circuit Analysis with Illustrative Problems, New York, McGraw-Hill, 1974.
Cutler, P., Dc Circuit Analysis with Illustrative Problems, New York, McGraw-Hill, 1974.
Cutler, P., Linear Electronic Circuits with Illustrative Problems, New York, McGraw-Hill, 1972.
Cutler, P., Solid-State Device Theory with Illustrative Problems, New York, McGraw-Hill, 1972.
Dally, J.W., Instrumentation for Engineering Measurements, 2ª ed., Singapore, John Wiley, 1993.
D'Angelo, H., Microcomputer Structures, North Quincy, Byte Books, 1981.
D'Azzo, J.J. & Houpis, C.H. Feedback Control Analysis, Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha, 1960.
Deboo, G.J. & Burrous, C.N., Integrated Circuits and Semiconductor Devices, Tokyo, Kogakusha Mc Graw Hill, 1977.
Dennis, W.H., Electronic Components and Systems, London, Butterworths, 1982.
Dieck, R.H., Measurement Uncertainty - Methods and Applications, Triangle Park, ISA, 1992.
Dieter, G.E., Engineering Design, 2ª ed., Singapore, McGraw-Hill, 1991.
Doebelin, E.O., Engineering Experimentation - Planning, Execution, Reporting, Singapore, McGraw-Hill, 1995.
Doebelin, E.O., Measurement Systems - Application and Design, 4ª ed., Singapore, McGraw-Hill, 1990.
Dorf, R.C., Mordern Control Systems, Reading, Addison Wesley, 1974.
Elliott, T.C. (editor), Practical Ideas, New York, McGraw-Hill, 1984.
Emanuel, P. & Leef, E., Introduction to Feedback Control Systems, New York, McGraw-Hill, 1979.
Eveleigh, V.W., Introduction to Control Systems Design, New York, McGraw-Hill, 1972.
Ewing, G.W., Instrumental Methods of Chemical Analysis, New York, McGraw-Hill, 1969.
Felder, R.M. & Rousseau, R.W., Elementary Principles of Chemical Processes, 2ª ed., Singapore, John Wiley, 1986.
Figliola, R.S. & Beasley, D.E., Theory and Design for Mechanical Measurements, 2ª ed., Singapore, John Wiley, 1995.
Fink, D.G., Electronics Engineers' Handbook, New York, McGraw-Hill, 1975.
Fisher, T.G., Alarm and Interlock Systems, Research Triangle Park, ISA, 1984.
Fisher Controls, Control Valve Handbook, 2ª ed., Marshalltown, Fisher Controls, 1977.
Fisher Controls, Control Valve Sourcebook, Marshalltown, Fisher Controls, 1988.
Fitzgerald, B., Control Valves for the Chemical Process Industries, New York, McGraw-Hill, 1995.
Fletcher, W.I., Engineering Approach to Digital Design, Singapore, Prentiece Hall, 1980.
Frederiksen, T.M. Intuitive IC Electronics, New York, McGraw-Hill, 1982.
Frenzel, L.E., Jr., Crash Course in Microcomputers, 2ª ed., Indianapolis, Howard W. Sams, 1984.
Gayakwad, R. & Sikoloff, L., Analog and Digital Control Systems, Singapore, Prentice-Hall, 1988.
Gibbings, J.C., Systematic Experiment, Cambridge, Cambridge University Press, 1986.
Graeme, J.G., Applications of Operational Amplifiers, Tokyo, Kogakusha Mc Graw Hill, 1973.
Greenfield, J.D., Practical Digital Design Using ICs, 2ª.ed., New York, John Wiley, 1983.
Hamburg, M. & Young, P., Statistical Analysis for Decision Making, 6ª ed., Orlando, Dryden Press, 1994.
Harland, P.W., Pressure Gauge Handbook, Sellersville, Ametek, 1985.
Harper, C.A., Handbook of Electronic Packaging, New York, Mc Graw Hill, 1969.
Harriot, P., Process Control, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1964.
Harrison, T.J., Minicomputers in Industrial Control, Englewood Cliffs, ISA/Prentice Hall, 1983.
Heffer, D.E., King, G.A. & Keith, D.C., Basic Principles and Practice of Microprocessors, London, Macmillan, 1981.

Helfrick, A.D. & Cooper, W.D., Instrumentação Eletrônica Moderna, Rio de Janeiro, Prentice-Hall do Brasil, 1994.

Herman, S.L. & Alerich, W.N., Industrial Motor Control, 2ª ed., New York, Delmar, 1990.

Hicks, C.R., Fundamental Concepts in the Design of Experiments, New York, Holt, Rinehart and Winston, 1982.

Holland, R.C., Microcomputers for Process Control, Oxford, Pergamon Press, 1983.

Holman, J.P., Experimental Methods for Engineers, 6ª ed., Singapore, McGraw-Hill, 1994.

Hordeski, M., Computer Integrated Manufacturing, Blue Ridge Summit, TAB, 1988.

Horowitz, P. & Hill, W., Art of Electronics, 2ª ed., New York, Cambridge, 1989.

Hougen, J.O., Measurements and Control Applications, Boston, Cahners Book, 1972.

Houpis, C.H. & Lamont, G.B., Digital Control Systems: Theory, Hardware, Software, Singapore, McGraw-Hill, 1983.

Hughes, F.W., OP-AMP Handbook, 2ª ed., Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1986.

Hughes, T.A., Programmable Controllers, Research Trinagle Park, 1989.

Hunter, R.P., Automated Process Control Systems - Concepts and Hardware, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1978.

Husain, A., Chemical process simulation, New Delhi, Wiley Eastern, 1986.

INMETRO, Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, Duque de Caxias, 1995.

Instrument Society of America, Standards and Practices for Instrumentation, Research Triangle Park, 1986

Instrumentation Technology - Instrumentation and Control Systems Engineering Handbook, Blue Ridge Summit, 1978.

Jacob, J.M., Industrial Control Electronics, Singapore, Prentice Hall, 1989

Johnson, C.D., Process Control Instrumentation Technology, 4ª ed., Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1993.

Jones, B.E., Instrumentation, Measurement and Feedback, London, McGraw-Hill, 19977.

Jones, L.D. & Chin A.F., Electronic Instruments and Measurements, 2ª ed., Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1991.

Kalani, G., Microprocessor Based Distributed Control Systems, London, Prentice Hall, 1988.

Kamm, L.J., Successful Engineering, New York, McGraw-Hill, 1989.

Kelley, C.R., Manual and Automatic Control, New York, John Wiley, 1968.

Kirk, F.W. & Rimboi, N.R., Instrumentation, Chicago, ATS, 3ª ed., 1975.

Kissell, T. E., Understanding and Using Programmable Controllers, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1986.

Klein, H. A., Science of Measurement: Historical Survey, New York, Dover, 1988.

Kletz, T. C., What Went Wrong?, 2ª ed., Houston, Gulf Pub. Co, 1988.

Koren, Y., Computer Control of Manufacturing Systems, Tokyo, McGraw-Hill, 1983.

Lavigne, J.R., Introduction to Paper Industry Instrumentation, San Francisco, Miller Freeman, 1972.

Lavigne, J.R., Instrumentation Applications for the Pulp and Paper Industry, San Francisco, M. Freeman, 1979.

Lees, F. P., Loss Prevention in the Process Industries, 2 vol, London, Butterworths, 1986.

Leigh, J.R., Applied Digital Controle, 2ª. ed., London, Prentice-Hall, 1992.

Lenk, J.D., Handbook of Basic Electronic Troubleshooting, Englewook Cliffs, Prentice Hall, 1977.

Lenk, J.D., Handbook of Pratical Solid-state Troubleshooting, Englewook Cliffs, Prentice Hall, 1971.

Leonhard, W., Instroduction to Control Engineering and Linear Control Systems, Wiesbaden, Springer, 1976.

Lewis, E.E., Introduction to Reliability Engineering, Singapore, John Wiley, 1987.

Lipták, B.G., Instrument Engineer's Handbook: Vol. 1 - Process Measurement, Philadelphia, Chilton, 1969.

Lipták, B.G., Instrument Engineer's Handbook: Vol. 2 - Process Control, Philadelphia, Chillton, 1970.

Lipták, B.G., Instrument Engineer's Handbook: Vol. 3 - Suplement 1, Philadelphia, Chilton, 1972.

Lipták, B.G., Instrument Engineer's Handbook: Process Control, 3[a] ed., Oxford, Butterworth-Heinemann, 1995.

Lipták, B.G., Instrument Engineer's Handbook: Process Measurement, 3[a] ed., Oxford, Butterworth-Heinemann, 1995.

Lipták, B.G., Instrument Processing in the Industries, Philadelphia, Chilton, 1973.

Lipták, B.G., Optimization of Unit Operations, Philadelphia, Chilton, 1987.

Ludwig, R.H., Illustrated Handbook of Electronic Tables, Symbols, and Measurements, New York, Parker Pub., 1977

Luyben, W.L. & Wenzel, L.A., Chemical Process Analysis, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1988.

Luyben, W.L., Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers, Tokyo, Kogakusha, 1973.

Luyben, W.L., Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers, 2[a] ed., New York, McGraw-Hill, 1990.

Lyons, J.L. & Ausklan, C.L., Lyons' Encyclopedia of Valves, Van Nostrand, New York, 1975.

Madhava Rao, T.S., Power System Protection - Static Relays, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1984.

Magison, E. E., Electrical Instruments in Hazardous Locations, 3[a] ed., 1978, Pittsburg, ISA.

Makansi, J., Managing Steam, Tampa, Leslie Controls, 1985.

Malvino, A., Microcomputadores e Microprocessadores, Sao Paulo, McGraw-Hill, 1985.

Marlin, T.E., Process Control, New York, McGraw-Hill. 1995.

Marshall, S.A., Introduction to Control Theory, London, Macmillan Press, 1978.

Martens, H. & Naes, T., Multivariate Calibration**,** Chichester, John Wiley, 1989**.**

Matley, J. (editor), Practical Process Instrumentation & Control, Vol. 2, New York, McGraw-Hill. 1986.

Matley, J. (editor), Valves for Process Control and Safety, New York, McGraw-Hill. 1989.

Mayne, R. & Margolis, S., Introduction to Engineering, New York, McGraw-Hill, 1982.

Mayr, O., Origins of Feedback Control, Clinton, Colonial Press, 1970.

McDaniel,G., IBM dictionary of Computing, New York, McGraw-Hill, 13[a]. ed., 1994.

McNeill, D. & Freiberger, P., Fuzzy Logic, New York, Simon & Schuster, 1993.

Melen, R. & Garland, H., Understanding IC Operational Amplifiers, 2[a] ed., Indianapolis, Howard W. Sams, 1978.

Miller, G.M., Linear Circuits for Electronics Technology, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1974.

Miller, R.W., Flow Measurement Engineering Handbook, 3[a] ed, New York, McGraw-Hill, 1996.

Mironer, A., Engineering Fluid Mechanics, Tokyo, McGraw-Hill, 1979.

Mirsky, G., Microprocessors and Instrumentation, Moscow, MIR Publishers, 1987.

Mollenkamp, R.A., Introduction to Automatic Process Control, Englewood Cliffs, ISA, 1984.

Montgomery, D.C. & Runger, G.C., Applied Statistics and Probability for Engineers, New York, John Wiley, 1994.

Moore, R.L., Measurement Fundamentals, Pittsburgh, ISA, 2[a] ed., 1976.

Morari, M. & Zafiriou, E., Robust Process Control, Englewood Cliffs, ISA, 1989.

Morris, A.S., Principles of Measurement and Instrumentation, 2[a] ed., Hertfordshire, Prentice-Hall, 1993.

Mott, R.L., Applied Fluid Mechanics, 3e, Singapore, Maxwell-MacMillan, 1990.

Nachtigal, C.L., Instrumentation & Control, New York, John Wiley, 1990.

Nagrath, I.J. & Gopal, M., Control Systems Engineering, 2[a] ed., New Delhi, Wiley Eastern, 1982.

Nakdra B.C. & Chaudhry, K.K., Instrumentation, Measurement and Analysis, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1985.

Newell, R.B. & Lee, P.L., Applied Process Control: A Case Study, Victoria, Prentice Hall, 1989.

Noltingk, B.E., Instrumentation - Reference Book, 2[a]. ed., Oxford, Butterworth Heinemann, 1995.

Norton, H. N., Sensor and Analyzer Handbook, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1982.

O'Higgins, P.J., Basic Instrumentation Industrial Measurement, New York, McGraw-Hill, 1966.

Osborne, A., Introduction to Microcomputers, Berkeley, Osborne/McGraw-Hill, 1980.

Padmanabhan, T.R., Digital Systems and Microprocessors, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1983.

Parker, S.P., editor, McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms, 5[a] ed., New York, McGraw-Hill, 1994.

Pasahow, E., Digital Integrated Circuits for Electronics Technicians, New York, McGraw-Hill, 1979.
Patranabis, D., Principles for Process Control, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1981.
Patranabis, D., Principles of Industrial Instrumentation, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1984.
Patrick, D.R. & Fardo, S.W., Industrial Process Control Systems, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1985.
Patrick,D. & Patrick,S., Instrumentation Training Course: Pneumatic Instruments, Indianapolis, H.W. Sams, 1985.
Patton, J.D. (editor), Instrument Maintenance Managers Sourcebook, North Carolina, ISA, 1980.
Phadke, M.S., Quality Engineering Using Robust Design, New York, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1989.
Platt, G., Process Control, Research Triangle Park, ISA, 1988.
Prentice, G., Electrochemical Engineering Principles, Singapore, Prentice-Hall, 1991.
Prett, D.M. & Garcia, C.E., Fundamental Process Control, Boston, Butterworths, 1988.
Pyzdek, T. & Berger, R.W., Quality Engineering Handbook, Milwaukee, ASQC Quality Press, 1992.
Ravindranath, B. & Chandler, M., Power System Protection and Switchgear,New Delhi, Wiley Eastern, 1986.
Rolston, D.W., Principles of Artificial Intelligence and Expert Systems Development, Singapore, McGraw-Hill, 1988.
Prett, D.M. & Garcia, C.E., Fundamental Process Control, Boston, Butterworths, 1988.
Ray, M., Engineering Experimentation, London, McGraw-Hill, 1992.
Royal Dutch/Shell Group, Shell Flow Meter Engineering Handbook, 1968.
Rutkowski, G.B., Handbook of Integrated-Circuit Operational Amplifiers, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1975.
Sam Wilson, J.A., Control Electronics with an Introduction to Robôics, Chicago, SRA, 1986.
Sandori, P., Logic of Machines and Structures, New York, John Wiley, 1982.
Savas, E.S., Computer Control of Industrial Processes, Ljubljana, McGraw-Hill Mladinskaknjiga, 1965.
Schmitt, N.M. & Farwell R.F., Understanding Automation Systems, Dallas, Texas Instruments, 1984.
Scholls-Council/Loughborough, Electronics, Systems and Analogues, London, Macmillan, 1975.
Schooley, J.F., Thermometry, Boca Raton, CRC Press, 1986.
Schram, P. J. & Earley, M. W., Electrical Installations in Hazardous Locations, Quincy, NFPA, 1988.
Schuller C.A., Electronics - Principles and Applications, 2ª ed., Singapore, Mc Graw Hill, 1987.
Schweitzer, P.A., Handbook of Valves, New York, Industrial Press, 1972.
Scott, R.W.W. (editor), Developments in Flow Measurement, Great Yamouth, Applied Science Pub., 1982.
Seborg, D.E., Edgar, T.F. & Mellichamp, D.A., Process Dynamics and Control, New York, John Wiley, 1989.
Segallis, W., Guide to Electronic Components, Boston, Cahner Bookds, 1975.
Shearer J.L. & Kulakowski, B.T., Dynamic Modeling and Control of Engineering Systems, Singapore, Macmillan, 1990.
Shercliff, J.A., Electromagnetic Flow-measurement, Cambridge Science Classics, 1987.
Shinskey, F.G., Distillation Control, New York, McGraw-Hill, 1977.
Shinskey, F.G., Energy Conservation Througj Control, New York, Academic Press, 1978.
Shinskey, F.G., Feedback Controllers for the Process Industries, New York, McGraw-Hill, 1994.
Shinskey, F.G., pH and Control in Process and Waste Streams, New York, John Wiley, 1973.
Shinskey, F.G., Process Control Systems, New York, McGraw-Hill, 1967.
Shinskey, F.G., Process Control Systems, 2ª ed., New York, McGraw-Hill, 1979.
Shinskey, F.G., Process Control Systems, 3ª ed., New York, McGraw-Hill, 1988.
Sianiko, H.W. (editor), Human Factors in the Design and Use of Control Systems, New York, Dover, 1961.
Simpson, C.D., Programmable Logic Controllers, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1994.
Singh, S.K., Industrial Instrumentation and Control, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1987.
Skoog, D.A., Holler, F.J. & West, D.M., Analytical Chemistry - An Introduction, 6ª ed., New York, Holt Saunders, 1994.

Skoog, D.A. & West, D.M., Principles of Instrumental Analysis, 2ª ed., Tokyo, Holt Saunders Japan, 1981.

Smith, C.A. & Corripio, A.B., Principles and Practice of Automatic Process Control, New York, John Wiley, 1985.

Smith, R.J., Electronics: Circuits and Devices, New York, John Wiley, 1973.

Souto, F.C.R., Visão da Normalização, Rio de Janeiro, Qualitymark, 1991.

Spink, L.K., Principles and Practice of Flow Meter Engineering, Foxboro, Foxboro Co., 1967.

Spitzer, D.W., Industrial Flow Measurement, Research Triangle Park, ISA, 1990.

Spitzer, D.W., Flow Measurement: Practical Guide for Measurement and Control, Research Triangle Park, ISA, 1991.

Stephanopoulos, G., Chemical Process Control, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1984.

Stout, D.F. & Kaufman, M., Handbook of Operational Amplifier - Circuit Design, New York, Mc Graw Hill, 1976.

Strobel, H.A. & Heineman, W.R., Chemical Instrumentation, 3ª ed., New York, John Wiley, 1989.

Sydenham, P.H., Measuring Instruments: Tools of Knowledge and Control, London, Peter Peregrinus, 1979.

Tanenbaum, A.S., Computer Networks, 2ª ed., Upper Saddle River, Prentice Hall, 1995.

Taylor, J.R., Quality Control Systems, Singapore, McGraw-Hill, 1989.

Tokheim, R.L., Principios Digitais, Sao Paulo, Schaum/McGraw-Hill, 1983.

Traister, J., Electrical Inspection Guide Book, Reston, Prentice Hall, 1979

Tuve, R. L., Principles of Fire Protection Chemistry, Boston, NFPA, 1976.

Ulanski, W., Valve & Atctuator Technology, New York, McGraw-Hill, 1991.

Warnock, I.G., Programmable Controllers: Operation and Application, Cambridge, Prentice Hall, 1988.

Webb, J., Programmable Logic Controllers, 2a. ed., Maxwell-Macmillan, 1992.

Webb, J. & Greshock, K., Industrial Control Electronicas, Singapore, Maxwell-Macmillan, 1992.

Weingerg, I., Instrumentation Manual (Petroleum Processing and Petro-Chemical Industries), Moscow, MIR, 1975.

Weiss, M.D., Microprocessors in Industrial Measurement and Control, Blue Ridge Summit, Tab Books, 1987.

White, D.H., Elementary Electronics, New York, Harper & Row, 1966.

Wightman, E.J., Instrumentation in Process Control, London, Butterworths, 1972.

Wilhelm, R.E., Jr., Programmable Controller Handbook, Hasbrouck Heights, Hayden, 1985.

Wolf, S., Guide to Electronic Measurements and Laboratory Practice, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1973.

Wollansky, W. & Akers, A., Modern Hydraulics: Basics at Work, Singapore, Merrill, 1990.

Wong, Y.J. & Ott, W.E., Function Circuits: Design and Applications, New York, Mc Graw Hill, 1976.

Wright, P.H., Introduction to Engineering, 2ª ed., Singapore, John Wiley, 1994.

Zaks, R., From Chips to Systems: An Introduction to Microprocessors, Berkeley, Sybex, 1981.

Zimmermann, R., Handbook for Turbine Flowmeter Systems, Flow Technology, Phoenix, 1977.